



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V
BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

MOŽNOSTI POUŽITÍ MATERIÁLŮ PRO
VÝROBU TESTOVACÍ FIGURÍNY

POSSIBLE MATERIALS FOR CRASH-TEST DUMMY CONSTRUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Veronika Pokorná

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. et Ing. Martin Bilík

BRNO 2017

Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství

Akademický rok: 2016/17

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Veronika Pokorná

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Expertní inženýrství v dopravě (3917T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Možnosti použití materiálů pro výrobu testovací figuríny

v anglickém jazyce:

Possible Materials for Crash-Test Dummy Construction

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracovat rešerši dnes používaných figurín pro nárazové zkoušky. Provést rešerši vývoje testovacích figurín z pohledu využívaných materiálů. Návrh materiálů pro výrobu testovací figuríny by měl být rozdělen do několika částí - materiály pro výrobu kostí, materiály pro výrobu svaloviny, materiály pro výrobu vnitřních orgánů. Návrh jednotlivých materiálů by měl být doplněn o návrh technologického postupu na výrobu testovací figuríny s využitím předmětných materiálů.

Cíle diplomové práce:

1. Rešerše dnes používaných testovacích figurín.
2. Rešerše používaných materiálů pro výrobu figurín.
3. Návrh vhodných materiálů pro výrobu testovací figuríny.
4. Návrh technologického postupu na výrobu testovací figuríny.
5. Odhad materiálových nákladů na výrobu testovací figuríny.

Seznam odborné literatury:

BRADÁČ, Albert. Soudní inženýrství. Dot. 1. vyd. Brno: CERM, 1999. ISBN 80-7204-133-9
Soudní lékařství. Vyd. 1. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-7169-728-1
www.humanetics.com

Vedoucí diplomové práce: Ing. et Ing. Martin Bilík

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 19. 10. 2016



doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
ředitel vysokoškolského ústavu

Abstrakt

Tato diplomová práce je věnována tématu možnosti použití materiálů pro výrobu testovací figuríny. V práci je charakterizováno, jak se vyvíjely nárazové figuríny, jaké nárazové figuríny jsou v současnosti k dispozici pro nárazové zkoušky a z čeho jsou vyrobeny. Hlavním cílem práce je návrh materiálů a postupu pro výrobu testovací figuríny s biofidelitou podobnou lidskému tělu. V práci je popsáno, jakým způsobem se bude postupovat při výrobě figuríny za použití duralu, pryže, olšového dřeva a silikonového polymeru nebo agaru.

Abstract

This diploma thesis is devoted to the possibility of using materials for crash test dummy construction. The thesis describes how crash test dummies evolved, what crash test dummies are currently available for crash test and what they are made of. The main aim of the diploma thesis is to design materials and process for production of a crash test dummy with human-like biofidelity. The thesis describes the way which the dummy will be manufactured using duralumin, rubber, alder wood and silicone polymer or agar.

Klíčová slova

Materiály, nárazová figurína, nárazové zkoušky

Keywords

Materials, crash test dummy, crash test

Bibliografická citace

POKORNÁ, V. *Možnosti použití materiálů pro výrobu testovací figuríny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2017. 70 s. Vedoucí diplomové práce Ing. et Ing. Martin Bilík.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

Bc. Veronika Pokorná

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat panu Ing. et Ing. Martinu Bilíkovi za konzultace a vedení při psaní diplomové práce. A dále bych také chtěla poděkovat své rodině za podporu při studiu na VUT.

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 NÁRAZOVÉ ZKOUŠKY	13
1.1 Euro-ncap 5	14
2 TESTOVACÍ FIGURÍNY	17
2.1 Historie testovacích figurín	17
2.2 Současnost testovacích figurín	23
2.2.1 Test čelního nárazu	24
2.2.2 Testování bočního nárazu	27
2.2.3 Test ochrany chodce.....	30
2.3 Používané materiály pro výrobu testovacích figurín.....	32
3 NÁVRH VHODNÝCH MATERIÁLŮ PRO VÝROBU TESTOVACÍ FIGURÍNY	35
3.1 Anatomická stavba lidského těla	35
3.2 Materiály na kostru.....	36
3.2.1 Kosti	37
3.2.2 Klouby	38
3.2.3 Páteř.....	40
3.2.4 Lebka.....	41
3.3 Materiály na měkké tkáně	42
3.3.1 Svaly	42
3.3.2 Kůže.....	47
3.4 Materiály na ruce a nohy	48
4 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU NA VÝROBU TESTOVACÍ FIGURÍNY	50
4.1 Parametry lidského těla	50
4.2 Formy na výrobu figuríny	53
4.3 postup při výrobě figuríny	56
4.4 Recyklovatelnost figuríny	58
5 ODHAD MATERIÁLOVÝCH NÁKLADŮ NA VÝROBU TESTOVACÍ FIGURÍNY ..	60
ZÁVĚR.....	62
ABECEDNÍ SEZNAM ZDROJŮ	63
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	67
SEZNAM OBRÁZKŮ	68
SEZNAM TABULEK	70
SEZNAM PŘÍLOH	71

ÚVOD

Tato diplomová práce bude zaměřena na nárazové figuríny, které napomáhají ve vývoji bezpečnosti dopravních vozidel. Přesněji se bude práce zabývat figurínami simulujícími chodce při střetu s motorovým vozidlem. Účelem těchto figurín je znázornění rozsahu úrazu způsobeným vozidlem při nárazu a analýza postřetového pohybu lidského těla podobně jako je tomu za reálných podmínek.

Cílem této práce je vytvořit návrh možných použitelných materiálů na výrobu těchto figurín. Současné figuríny jsou velmi sofistikovaná zařízení, která mohou vytvářet záznamy a data pro další zpracování. Díky tomu jsou také značně drahé a těžko dostupné. Hlavním úkolem tak bude použít levné náhrady materiálů a zároveň co nejvíce zachovat fyzické a biologické vlastnosti lidského těla. Vzhledem k finanční úspoře bude kladen důraz i na následnou recyklaci figuríny.

První dvě kapitoly budou věnovány historii nárazových figurín a nárazovým testům s použitím současných nárazových figurín. Figuríny budou rozděleny dle použití a popsány, z jakých materiálů jsou vyráběny. Další kapitola bude zaměřena na návrh konstrukce a materiálů pro výrobu figuríny v souvislosti s anatomií lidského těla. Čtvrtá kapitola bude soustředěna na technologický postup při výrobě figuríny, jako je proces při výrobě hmoty nebo výpočet rozměrů forem, a na recyklaci figuríny. Poslední kapitola se bude zabývat finanční náročností celého projektu.

1 NÁRAZOVÉ ZKOUŠKY

Nárazové zkoušky jsou jedním z měřítek bezpečnosti vozidla. Bezpečnost je z velké části ovlivněna bezpečnostními prvky vozidla, které mají dopad na samotný vznik, průběh a následné zranění účastníků v dopravní nehodě. Dle použití jsou prvky rozděleny na prvky aktivní a pasivní bezpečnosti.

Prvky aktivní bezpečnosti se rozumí systémy, technická zařízení a vlastnosti vozu, které slouží k předejití nebo zabránění dopravních nehod. K hlavním aktivním prvkům patří především kvalitní brzdy, vhodné pneumatiky, dobře fungující tlumiče, které vytváří dokonalou přilnavost kola s vozovkou, přesné a spolehlivé řízení a osvětlení. Dalšími aktivními prvky jsou různé elektronické systémy, mezi které například patří elektronický protiblokovací, protiskluzový a stabilizační systém, známé pod zkratkami ABS, ASR a ESP.

Pasivní prvky, oproti aktivním prvkům, pomáhají přesně v okamžiku dopravní nehody. Jedná se o konstrukční zařízení, které mají za účel maximálně snížit možné následky střetu. Mezi pasivní prvky bezpečnosti patří například bezpečná konstrukce karoserie, sedačka s opěrkou hlavy, bezpečnostní pás s jeho předpínačem, airbagy atd. (8) (10) (11)



Obrázek 1 – Airbag pro chodce (26)

Všechny tyto prvky bezpečnosti jsou testovány právě při nárazových zkouškách. Na takovou nárazovou zkoušku je potřeba motorové vozidlo, které je ve většině případů použito pouze jedenkrát vzhledem k rozsáhlému poškození při testu. Nejen díky tomu je testování

pro automobilky finančně velmi nákladné, proto se před nárazovou zkouškou simulují předpoklady vozidla do počítačových simulačních programů, které v současnosti umožňují poměrně přesně odhadnout, jak si vozidlo v nárazovém testu povede. Zkoušky na náraz se pak ověřují už jen maximálně na třech reálných vozidlech. Dále se skutečná zkouška vyhodnotí a porovná se simulačními testy a následně pomocí důkladné analýzy se vývojový inženýři snaží poučit s případných chyb pro budoucí vývoj virtuálního testování tak, aby příště bylo zase o něco přesnější. Se simulačními programy totiž můžeme jednoduše, rychle a operativně změnit prvotní nedostatky návrhu a s následným výpočtem opět ověřit poupravenou konstrukci a chyby odstranit. Tím se tak zrychlí fáze vývoje, bude finančně levnější a především se zvýší bezpečnost vozidel. (8) (10) (11)

1.1 EURO-NCAP 5

Jednou z nejznámějších organizací, která provádí nárazové zkoušky v Evropě je European New Car Assessment Programme (Euro NCAP). Euro NCAP je nezávislé konsorcium, které bylo založeno v prosinci roku 1996 a od roku 1998 se stalo oficiální nezávislou mezinárodní organizací. S ní dále spolupracuje mnoho institucí, jako jsou například Evropská komise nebo Mezinárodní automobilové federace.

Euro NCAP vydává bezpečnostní hodnocení nových testovaných modelů motorových vozů formou udělení hvězdiček za bezpečnost s maximálním možným získaného množství pět hvězdiček. Takto vysoký počet hvězdiček ukazuje nejen na to, že výsledek testu byl dobrý, ale také na to, že bezpečnostní zařízení na testovaném modelu je snadno dostupné všem spotřebitelům v Evropě. Hodnocení hvězdami přesahuje rámec zákonných požadavků a ne všechna nová vozidla musí tyto testy podstoupit. Vozidlo, které právě splňuje minimální zákonné požadavky, by nemělo být způsobilé pro všechny hvězdy. To také znamená, že vozidlo, které je hodnoceno nedostatečně, není nutně nebezpečné, ale není tak bezpečné, jako vůz konkurentů, který dopadl v hodnocení lépe. Výsledky těchto testů se uvádějí v automobilových časopisech nebo na automobilových internetových stránkách a mnohdy výrazně ovlivní další prodejní tržbu jednotlivých vozů. Takže díky testům Euro NCAP se automobilky postupem několika let začaly v oblasti bezpečnosti zlepšovat. (23)

Euro NCAP provádí pět druhů testů vždy u každého testovaného modelu. Začíná se čelním přesazeným nárazem vozidla do deformovatelné bariéry za přítomnosti sedících figurín uvnitř kabiny. Pro tento test se používá testovací figurína Hybrid III, která je pomocí snímačů sledována. Z výsledný parametrů ze snímačů je pak posouzen rozsah možných poranění

cestujících ve vozidle. Druhým testem je test bočního nárazu do boku vozidla. Tento test simuluje srážku dvou vozidel, kdy jedno naráží do boku druhého. Test probíhá za přítomnosti figuríny Euro SID II, která je navržena pro hodnocení bočního nárazu. Jako třetí test se provádí boční náraz vozidla na sloupek, kde je opět použita figurína Euro SID II. pro boční náraz. Čtvrtý je test bezpečnosti vozidla pro chodce při nárazu. K tomuto testu se nepoužívají figuríny, ale tzv. impaktory představující určité části lidského těla. Impaktor hlavy ve dvou velikostech, představující hlavu dospělého člověka a hlavu dítěte. Dalšími jsou impaktor stehenní části a impaktor dolní končetiny, který se skládá ze stehenní části, kolenního kloubu a holenní části. Posledním, pátým testem je bezpečnost dětí v dětských sedačkách ve vozidle, na který se používá figurína Hibrid III. v dětských velikostech.

Od roku 2009 z těchto pěti testů vychází konečné hodnocení, které rozhodne o počtu hvězdiček za bezpečnost, jaké vozidlo dostane. Podrobnější rozepsání těchto testů se dozvíte v kapitole o současných testovaných figurínách. V budoucnu se začnou využívat během testování i figuríny dospělých na zadních sedačkách. Přední sedačky jsou už u většiny vozidel navrženy tak, aby se při prudkém nárazu zezadu trochu povolily a umožnily tak hlavám řidiče a pasažéra na předním sedadle měkčí dopad. To ovšem často odnášejí nohy lidí na zadních sedačkách, kde v některých vozech není místo na kolena už v základu, natož tak během dopravní nehody. Tento test by se měl začít ověřovat od roku 2019 a tak se budou muset automobilky novému trendu brzy přizpůsobit.

Hodnotí se několik kritérií, například hodnoty decelerace působící na posádku, zda nebyly některé části těla (krk atd.) vystaveny vážnému nebo smrtelnému zranění. Tyto informace lze zjistit z výsledných hodnot získaných ze snímačů ve vozidle a ze snímačů ve figurínách. Následujícím kritériem hodnocení je stabilita karoserie, jestli zůstala kostra vozu při nárazu stabilní a jak velkou sílu bylo nutné vynaložit pro otevření dveří po nárazu atd. Celkové hodnocení se počítá z dosaženého počtu bodů, které vozidlo získá součtem bodového hodnocení za jednotlivé druhy nárazů. (23)

Bezpečnost 5 hvězdiček: Celkově dobrý výkon v oblasti ochrany nárazu. Dobře vybavený robustní technologií pro předcházení nehodám.

Bezpečnost 4 hvězdiček: Celkově dobrý výkon v oblasti ochrany při nárazu; jsou přítomné i další technologie pro předcházení nehodám.

Bezpečnost 3 hvězdiček: Průměrně dobrá ochrana cestujících, ale chybí technologie pro předcházení nehodám. (27)

Bezpečnost 2 hvězdiček: Nominální ochrana cestujících, chybí technologie pro předcházení nehodám.

Bezpečnost 1 hvězdičky: Marginální ochrana cestujících.

Tabulka 1 – Výsledné hodnocení počtem hvězd podle počtu získaných bodů (27)

Počet bodů	Výsledné hodnocení	
1	1 - 8	★☆☆☆☆
2	9 - 16	★★☆☆☆
3	17 - 24	★★★☆☆
4	25 - 32	★★★★☆
5	33 - 40	★★★★★

Je nutné si však připomenout, že systém hodnocení bezpečnosti pět hvězdiček se neustále vyvíjí díky stále lepším technologiím a novým inovacím, které jsou a budou k dispozici. To znamená, že testy jsou pravidelně aktualizovány a proto je velmi důležité pro vyjasnění výsledku znát rok, kdy bylo vozidlo testováno. (27)

2 TESTOVACÍ FIGURÍNY

Vozidla jsou v našich životech už více než sto let a jednou z hlavních problematik je jejich bezpečnost. V současnosti je úmrtnost ve vozidlech několikanásobně nižší než v raných začátcích výroby, i přes jejich vyšší počet na silnicích. Tento pozoruhodný pokrok je z velké části zásluhou výrobců a konstruktérů, kteří kladli důraz na zlepšení bezpečnostních prvků ve vozidlech, které následně snížily následky dopravních nehod nebo jim dokonce zamezí. Tomuto pokroku také napomáhalo zapojení figurín do testování bezpečnosti. Dnes jsou figuríny, díky jejich fyzikálním vlastnostem a stavbě, velmi podobné skutečnému lidskému tělu. (21)

2.1 HISTORIE TESTOVACÍCH FIGURÍN

Případy nehod ve 30. letech 20. století započaly řešení problému pomocí nárazových testů, které poukázaly na bezpečnostní nedostatky jednotlivých částí vozidla a funkčnost ochranných systémů. Nejvhodnější metodou je zjištění přímých poranění na lidském těle během dopravní nehody. První variantou, jak tento test vyzkoušet, bylo testování s mrtvolami lidí. Varianta byla vzhledem k nejbližší fyziologické podobě živého člověka ta nejlepší, ale pojilo se s ní hned několik problémů. Morální a etické otázky týkající se práce s mrtvými a dále úzký výběr různorodosti jedinců. Převážně se jednalo o mrtvolu staršího věku, které zemřely nenásilnou smrtí bez viditelných zranění, které by mohla narušit sbírání údajů z nárazových zkoušek. Vzhledem k množství problémů se od tohoto způsobu testování muselo upustit. Další možností bylo použití zvířat, především šimpanzů a vepřů. Struktura masa a kostí je člověku velmi podobná, ale vzhledem k odlišné biologické stavbě těla přinášela nepřesná a tak nepoužitelná data. Bylo tedy nezbytné vytvořit lidskou podobiznu. (21)

Problematikou pasivní bezpečnosti se zabýval americký profesor Larry Patrick, který přišel jako první s výzkumem bezpečnosti vozidel. Larry Patrick nechal na sobě vyzkoušet mnoho různých druhů nárazových zkoušek včetně kyvadlových dopadů na hrud', testů ve vysokorychlostních saních, díky kterým bylo možno zjistit působení rychlosti na lidské tělo, nebo se ve vozidlech rozjížděl proti nejrůznějším překážkám. Pomocí získaných údajů z testů s vlastním tělem pak mohl zhodnotit závady konstrukcí vozidel a stanovil tak základní kritéria pro ochranu pasažérů, které jsou platné dodnes. (12)



Obrázek 2 - Profesor Lawrence Patrick při pokusu (40)

Z výsledků testů profesora Larryho Patricka byla vyvozena následující pravidla:

- prostor ve vozidle musí být dostatečně prostorný, aby posádka přežila i převrácení vozidla a jízdu po střeše,
- do kabiny nesmí proniknout žádná část vozidla, všechny části ve vnitřním prostoru nesmí mít ostré hrany nebo výstupky, které by mohly posádku zranit, v případě, že to není možné, je potřeba hrany a výstupky alespoň zakulatit nebo změkčit,
- vnitřní části kabiny by měly být vyrobeny z materiálu tlumící nárazy a případné plochy, které by mohly být ve styku s lidským tělem, musí být co největší,
- kabina musí zůstat celistvá a co nejtužší, aby se při havárii co nejméně deformovala, a musí umožnit otevření minimálně jedné dveří bez pomoci nástrojů,
- sedačky musí být pevně ukotveny, aby zůstaly v případě nárazu na svém místě,
- pasažéři musí být fixováni na sedadlech speciálním zařízením, které nedovolí kontakt těl s pevnými částmi kabiny při energetickém nárazu,
- dveře vozidla se nesmí při nárazu samovolně otevřít, posádka nesmí z vozidla vypadnout,
- přední část vozidla musí pohltit energii nárazu a rozprostřít ji na delší čas, aby zpoždění posádky v kabině při nárazu nepřekročilo kritické hodnoty,
- okna ve vozidlech musí mít takové konstrukční vlastnosti, aby při rozbití nezpůsobily řezné rány pasažérům,
- při dopravní nehodě nesmí dojít k úniku paliva ani ke vznícení vozu, materiály použité v interiéru vozidla by měly být nehořlavé nebo alespoň se sníženou hořlavostí. (12)

První crash test figuríny byly vyvinuty v roce 1949 v leteckém průmyslu k testování vystřelovací sedačky v letadle, pilotního zádržného postroje a pilotních přileb. Společností Alderson Research Labs byla postavena první inženýrská figurína s názvem Sierra Sam. Tyto figuríny byly v životní velikosti a hmotnosti, ale jejich těla byla dost tuhá a spíše mechanická. Americké letectvo podepsalo v 50. letech výzkumný projekt, který studoval střety vozidel pro zvýšení bezpečnosti. Výzkum byl však určen především ve prospěch vojenským leteckým a vesmírným programům. Ve vývojovém středisku Grumman-Alderson byla vytvořena figurína „GARD Dummy“ pro zkoumání dopravních nehod. (28)

Současně zahájil výrobu vlastních testovacích figurín i Ford. Díky figurínám, označovaným jako Ferd I. a Ferd II., se ve vozidlech vylepšily nebezpečné volanty, vycpaly se palubní desky a kladl se důraz na funkční otvírání dveří i po střetu. (3)



Obrázek 3 – Ferd I. a Ferd II. (25)

Během dalšího vývoje došlo ke stanovení percentilních skupin. Tyto skupiny znamenají, že např. 50-ti percentilní figurína je vyšší a především těžší než 50% mužské populace. Figuríny napodobující muže byly rozděleny na 50-ti a 95-ti percentilní. Ženské figuríny byly 5-ti percentilní. (21)

Od 70. let se spojily evropské vlády kvůli projektu Evropského výboru pro zvýšení bezpečnosti vozidel (EEVC), který posuzoval různá hlediska sekundární bezpečnosti vozidel. Na takový test jim posloužila testovací figurína s názvem Side Impact Dummy (SID). Používala se hlavně k měření zrychlení hrudníku a páteře během nárazové zkoušky. Neměřila však stlačování hrudníku, nebyla zde měřítkem ani rizika poranění v oblasti břicha nebo nohou. Po přelomu 90. let EEVC vyvinul velké množství testovacích postupů pro ochranu posádky při čelním i bočním nárazu. Projekt se dále zabýval ochranou chodců při čelním nárazu. (23)



Obrázek 4 - Figurína SID vyvinuta v 70. letech (24)

Automobilový průmysl striktně odmítal návrhy na přijetí evropské legislativy o zkušebních testech až do roku 1994. Zlom přišel v červnu roku 1994, kdy britské ministerstvo dopravy schválilo testy NCAP, které se následně rozšířily po celé Evropě. Tento komplexní program byl vyvinut na základě postupů EEVC. V červnu o rok později se zvýšil zájem o program a Evropská komise zavedla diskuzi o dalším rozvoji. (23)

Dalším nástupcem mezi crash test figurínami byla figurína s názvem Hybrid I. Následující rok byla tato figurína inovována s lepšími rameny, páteří a koleny. Nesla jméno Hybrid II. a byla 50-ti percentilní. Původně navržená figurína od Alderson Research Laboratories byla upravena společností General Motors a Národním úřadem pro bezpečnost silničního provozu (NHTSA) pomocí Alderson a Sierra strojních dílů. Tato figurína byla oproti předešlému modelu mnohem mobilnější. Z vygenerovaných dat z nárazových testů se poškozením podobala lidskému tělu. O další rok později byla vyvinuta 50-ti percentilní figurína, která představovala mužskou velikost těla. V roce 1973 byla figurína pověřena NHTSA pro použití při testování automobilových zádržných systémů, které splňovali Federal Motor Vehicle Safety Standard No. 208 (FMVSS 208). Mezi lety 1979 – 1987 NHTSA a Bezpečnostní výzkumný institut z University of Michigan Transportation Institute (UMTRI) podepisují smlouvy o vývoji figuríny pro boční náraz. Je to figurína typu Hybrid II. s vylepšeným hrudníkem. (21)



Obrázek 5 - Hybrid II. 50-ti percentilní muž (28)

Velikost a hmotnost Hybrid II. 50-ti percentilní figuríny muže reprezentovala průměrné dospělé muže z USA. Součástí designu je rozsah pohybů těžišť a segmentových hmotností zjištěných pomocí antropometrických studií, které představují lidské subjekty. Figuríny Hybrid

II. měly také využití pro neautomobilové aplikace, které se týkaly invalidních vozíků pro lékařské účely nebo sportovních potřeb.

Dalším typem figuríny vyvíjenou společnostmi Humanetics a Society of Automotive Engineers (SAE) na konci 80. let byla figurína Hybrid III. Jedná se o figurínu s vylepšenou biofidelitou i mechanickými vlastnostmi. Byla vyrobena ve velikostech malé ženy a velkého muže. Figuríny byly vytvořeny především na testy účinnosti zádržných systémů u malých či velkých jedinců a jsou používány až dodnes. (21)



Obrázek 6 – Hybrid III. 50-ti percentilní muž (35)

Do roku 1994 byly návrhy na přijetí evropské legislativy o zkušebních testech striktně odmítány automobilovým průmyslem. V červnu 1994 schválilo Britské ministerstvo dopravy testy NCAP, které se následně rozšířily napříč celou Evropou. Tento komplexní program byl vyvinut na základě postupů EEVC. V červnu o rok později se zvýšil zájem o program Evropskou komisí k diskuzi o dalším rozvoji vyvinut na základě postupů EEVC. V červnu o rok později se zvýšil zájem o program Evropskou komisí k diskuzi o dalším rozvoji. (23)



Obrázek 7 - Zleva Hybrid II. (1970) a Hybrid III. (1980) (32)

Tato historie souvisí s figurínami, které se používaly ve vozidlech na sedadlech řidiče či spolujezdců. Vývoj a stavba těchto figurín byly základem pro vytvoření figurín chodců.

2.2 SOUČASNOST TESTOVACÍCH FIGURÍN

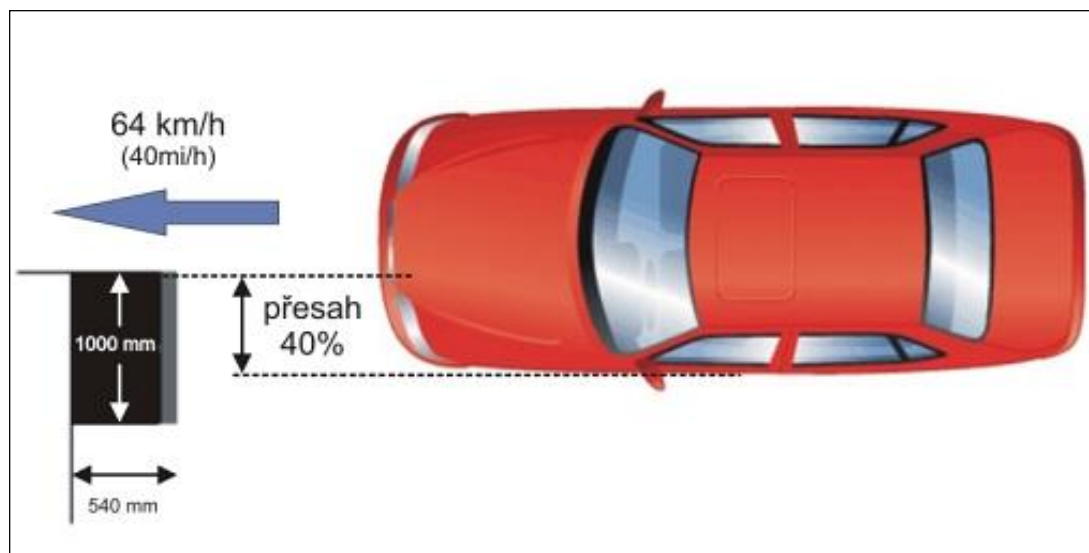
Testovací figurína je kalibrovaný zkušební přístroj, který se používá k měření potenciální lidské újmy při střetu s vozidlem. Figurína tak simuluje lidské odezvy vůči nárazům, zrychlení, odklonům, silám a momentům vznikajícím při střetu. Snímače ve figuríně zaznamenávají hodnoty zatížení, které na figurínu během testů působí. Tyto hodnoty jsou přečteny a vyhodnoceny. Pokud je vozidlo po testu vyhodnoceno jako nezpůsobilé, musí se konstrukčně poupravit. Test je opakován do doby, kdy je vozidlo schopno čelit nárazové zkoušce s minimálně nejnížší přípustnou úrovní bezpečnosti.

Pro vývoj současných figurín byla využita data pocházející z fyziologického měření lidí s nesmrtelným zraněním při autonehodě a z dat získaných na základě testování fyzikálních

vlastností tkáně mrtvých lidí a zvířat. Alternativa použití lidských subjektů při testování však není vhodný přístup. Jedinec může být zraněn nebo zabit, což není přijatelné z etických důvodů. Dále také proto, že každý jedinec má jiné fyziologické reakce na nehodové prostředí a tak by byly shromážděné údaje od živých jedinců velmi proměnlivé. Testovací nárazová figurína tak může reprezentovat mnoho velikostí v různém věku a se schopnostmi, které mohou být použity v různých nárazových simulacích. Díky tomuto nástroji, který lze opakovaně používat, je možné zvyšovat bezpečnost v dopravě. (28)

2.2.1 Test čelního nárazu

Základní zkouškou z metodiky homologačních testů evropské komise pro bezpečnost je test čelního nárazu. Jedná se o čelní náraz v rychlosti 64 km/h do deformovatelné hliníkové překážky, která svou strukturou připomíná včelí plástve a měří $1\,000 \text{ mm}$ na šířku a 540 mm na výšku. V reálném provozu tento test reprezentuje reálný střet dvou protijedoucích vozidel o stejné hmotnosti, z nichž každý jede rychlostí 50 km/h . Náraz je do bariéry veden s přesahem 40% . Během testu tvoří osádka dvě dospělé figuríny na předních sedadlech a dvě dětské figuríny situované na zadních sedačkách. (17) (23)



Obrázek 8 – Podmínky pro čelní náraz (23)

Výzkum prokázal, že právě tento typ nárazu patří mezi nejčastější typy střetu vozidla, totéž platí i pro střetovou rychlost. Hlavní příčinou těchto zranění je kontakt cestujícího s částmi interiéru vozidla, které po střetu vstoupí do prostoru pro pasažéry. Pokud se zabrání deformaci interiéru, je naděje, že se tak sníží následky poranění posádky. Důležitou částí bezpečnostního

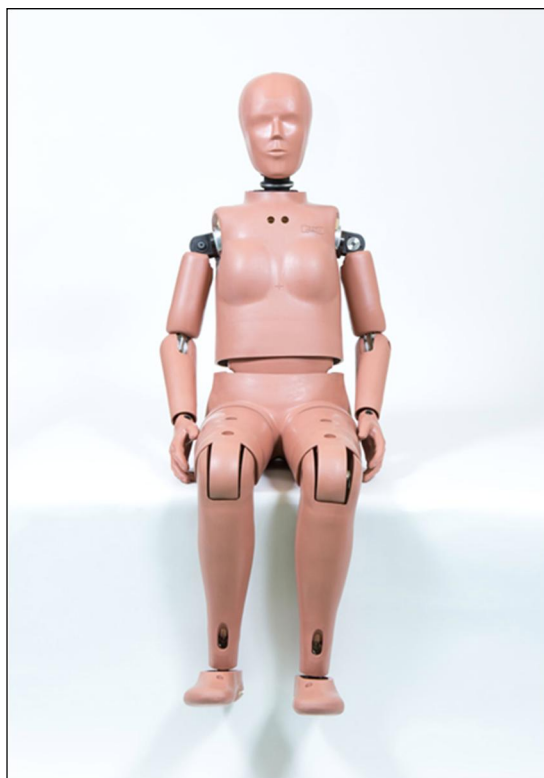
systému jsou airbagy umístěné po vnitřním obvodu kabiny. Podmínkou však je, aby cestující byli zabezpečeni zádržnými systémy, jinak by mohli mít airbagy opačný efekt.



Obrázek 9 – Test čelního nárazu pod záštitou EURO NCAP (39)

Bezpečnost vozidla je posouzena podle naměřených dat na základě zrychlení jednotlivých částí figuríny při nárazové zkoušce, podle vizuální kontroly celistvosti figuríny a podle zjištění pohybu těla v prostoru kabiny. (17) (23)

V současné době jsou pro čelní nárazové zkoušky používány převážně tři typy figurín. Jedná se o figuríny Thor, Hybrid II. a Hybrid III. v různých velikostech provedení. Figurína Thor se vyrábí v 50-ti percentilní velikosti muže. Má zlepšenou biofidelitu a dynamickou odezvu, a rozšíření možných specifických přístrojů pro posouzení ublížení. Figurína má lepší trvanlivost při opakovatelnosti pokusů a má uživatelskou přívětivost. Další používanou figurínou je Hybrid II. 50-ti percentilního muže. Její výroba se téměř od roku 1973 nezměnila. Má uspokojivou biofidelitu a je schopna generovat zkušební data s dostatečnou přesností fyzické a biologické podobnosti lidskému tělu. Nejpoužívanější figurínou je Hybrid III. 50-ti percentilního muže. Nedávné revize zlepšily její fyzickou a biologickou podobnost a mobilitu kotníku a nohy. Dále se Hybrid III. aplikuje ve velikostech 5-ti percentilní ženy a 95-ti percentilního muže, aby otestovaly zádržné systémy ve vozidlech. (28)



Obrázek 10 – Hybrid III. 5-ti percentilní žena (35)

V testech pro čelní náraz jsou použity i dětské figuríny. Při zpomalení po nárazu může být okamžitá hmotnost dítěte vynásobena až dvacetkrát, takže je kladen důraz na bezpečnost zádržných systémů a dětských sedaček. Nejpoužívanější dětské figuríny jsou ve třech velikostech zmenšené verze Hybrid III. Jedná se o tříleté, šestileté a desetileté dítě. (28)



Obrázek 11 – Figurína dítěte HIII-3YO (35)

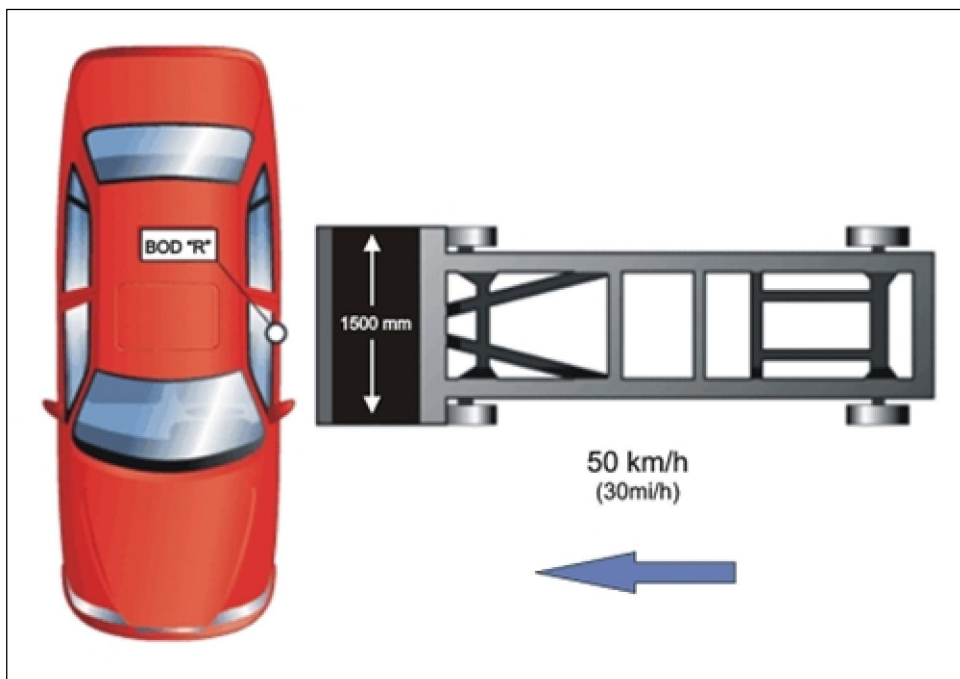
2.2.2 Testování bočního nárazu

Test bočního nárazu reprezentuje druhý nejčastější typ dopravní nehody, přesněji se jedná o náraz směřovaný do boku vozidla. Vzhledem k čelnímu nárazu je boční náraz pro pasažéry o něco rizikovější, protože boční strana auta má velmi malý prostor pro absorbování energie nárazu se vznikem řízené deformace. Při nárazech tohoto druhu dochází k poranění hlavy a hrudníku. Při testu bočního nárazu se využívá jiný druh figuríny než na náraz čelní, takové figuríny, které mají citlivější měření v oblasti hlavy, hrudníku, břicha a pánve.



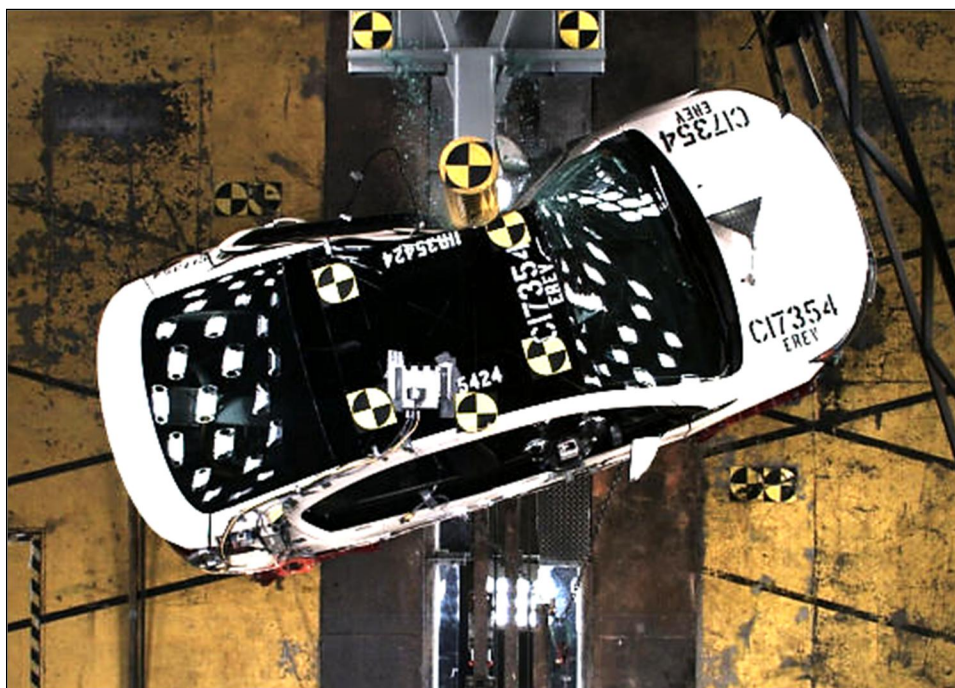
Obrázek 12 – Test bočního nárazu pod záštitou EURO NCAP (39)

Test bočního nárazu je simulován jedoucím vozíkem rychlostí 50 km/h, který kolmo naráží kolmo do boku stojícího vozidla. Vozík má v přední části opět deformovatelnou bariéru vyrobenou z hliníku ve tvaru včelích plástů. Aby byl test věrný, stanovili hmotnost vozíku na 950 kg a šířku nárazové plochy 1 500 mm. Náraz je směřován na stranu řidiče do tzv. bodu R. Většina mužů má v této oblasti kyčel. (17) (23)



Obrázek 13 – Podmínky pro test bočního nárazu (23)

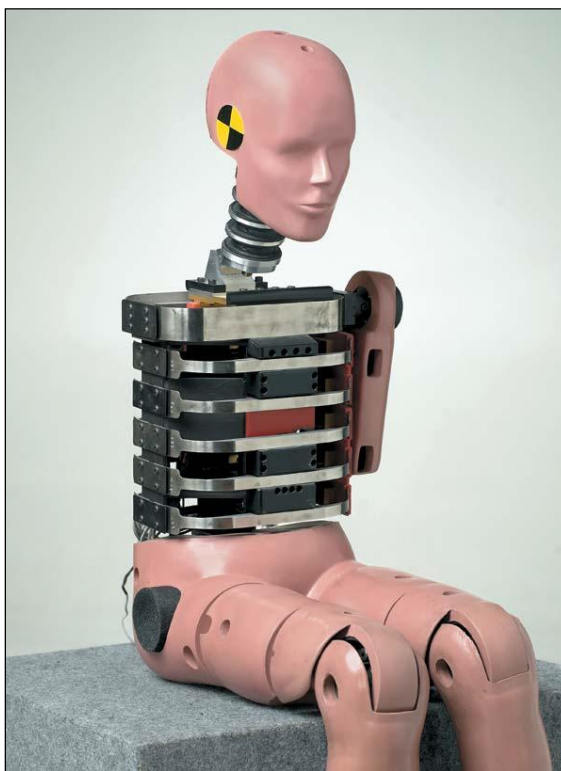
Další variantou bočního nárazu je srážka vozidla do sloupu, při kterém pevný sloup vržen rychlostí 29 km/h na sloupek stojícího vozidla. Vzhledem k úzké šířce sloupku je i při nízké rychlosti zaveden poměrně hluboko do karoserie a tak je tento druh nehody ještě o něco závažnější než náraz na deformovatelnou bariéru. (17) (23)



Obrázek 14 – Test bočního nárazu na pevný sloup (22)

V současné době jsou výsledky z bočních nárazů o mnoho lepší, protože se automobilky zaměřily právě na tyto slabiny vozu, jako byla například nízká pevnost konstrukce karoserie, doplnily je bočními airbagy a tím tak snížily riziko vzniku vážných a smrtelných zranění posádky.

Uzpůsobenými figurínami pro boční náraz jsou figuríny SID-IIs, EuroSID-2 a WorldSID. Oproti figurínám pro čelní náraz jsou citlivější na boční náraz vozidla a nemají celou délku paží, které pro tento druh testu nejsou podstatné. SID-IIs je novou generací původní figuríny SID. Jedná se o 5-ti percentilní figurínu ženy nebo dítěte ve věku 12-13 let, která byla vyvinuta z 5-ti percentilní ženské figuríny Hybrid III. Je schopna měřit přes 100 datových kanálů pro hodnocení újmy na hlavě, krku, pažích, hrudníku, břicha, pánve a nohou. (28)



Obrázek 15 – Figurína pro boční náraz SID-IIs (24)

EuroSID-2 je vylepšenou verzí EuroSID a vyrábí se ve velikosti 50-ti percentilního muže. Figuríny WorldSID zastupují velikost 5-ti percentilní ženy a 50-ti percentilního muže. Byly vyrobeny pro celosvětový projekt a momentálně jsou nejmodernějším a nejdokonalejším typem figuríny pro boční náraz. První prototypové figuríny byly vyhodnoceny v testech

v letech 2006-2007. WorldSID figurína byla vyvinuta s celkovou biofidelitou 7,6 na stupnici 10 podle normy ISO TR9790, čímž se stala figurínou nejpodobnější lidskému tělu. (28)

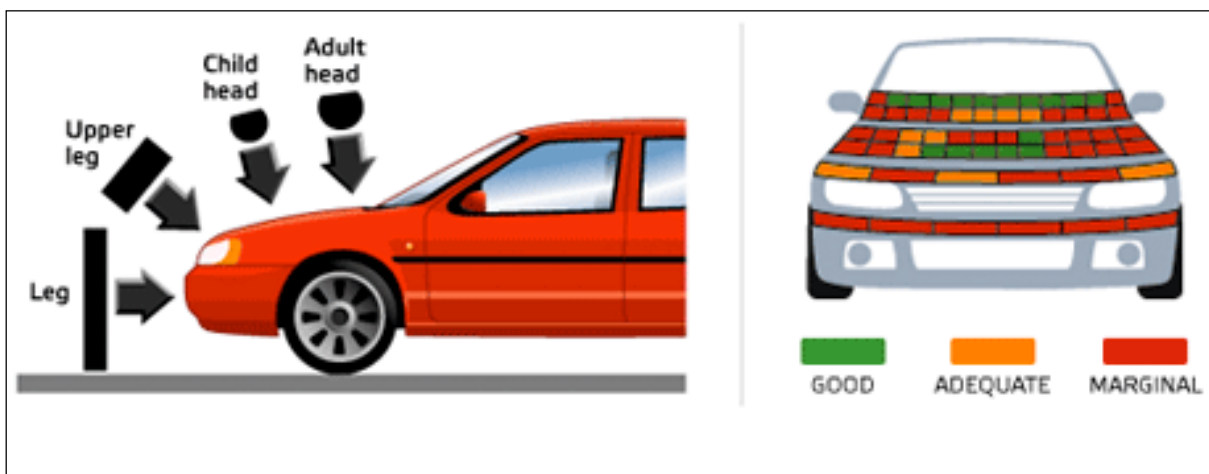


Obrázek 16 – Figurína pro boční náraz WorldSID (35)

2.2.3 Test ochrany chodce

Podle databáze německého výzkumu dopravních nehod GIGAS je ze všech zabitých osob při dopravních nehodách na silnicích v oblasti evropské unie 22 % chodců. Právě proto se v posledních několika letech zařadilo i testování nárazu vozidla do chodce.

Provádí se simulace nárazových zkoušek u dětských i dospělých chodců, kdy je nárazová rychlost 40 km/h. Následně se místo nárazu vyhodnotí jako dobré, slabé nebo nevyhovující. Na tento druh nárazové zkoušky se nepoužívají celé figuríny, ale tzv. impaktory určitých částí těla, protože při sražení celé figuríny je velice obtížné zkoušku zopakovat za úplně stejných podmínek. Když se nasměruje noha do správného místa sražení, těžko odhadneme, zda zbytek těla dopadne tam, kam potřebujeme. Proto byl vytvořen impaktor hlavy v dospělé i dětské velikosti, který je při testu směřován na přední kapotu vozidla. Impaktor stehenní části těla je namířen na přední hranu vozidla a impaktor dolní končetiny na přední nárazník. (23) (33)



Obrázek 17 – Test nárazové zkoušky ochrany chodce (11)

Vzhled a konstrukce vozidel byly i díky těmto testům vyvíjeny pro lepší ochranu chodců. Například pro lepší ochranu se začaly používat lépe deformovatelné materiály na nárazník, aby náraz na nohu nebyl tak tvrdý. Nárazník se také začal umísťovat níže, aby trefil nohu co nejnižše pod koleno. Odstraněním ostrých hran a tvrdých konstrukcí, které byly navrženy především kvůli designu, může být vylepšena přední kapota. Některé současné vozidla jsou navíc vybaveny takzvanou aktivní kapotou, která se při srážce s chodcem nadzvedne, čímž se zvětší deformační zóna a sníží tak následky nárazu hlavy. (23) (33)



Obrázek 18 – Impaktor hlavy při testu ochrany chodce (1)

Ve výjimečných případech jsou některá auta vybavena i speciálním airbagem umístěným pod kapotou, který se při kontaktu vozidla s chodcem nafoukne a poskytne tak měkký dopad na tuhý rám a čelní sklo.

Impaktory dětské a dospělé hlavy jsou konstrukčně stejné, liší se jen ve velikosti a hmotnosti. Základní tvar je kulovité těleso, které je vyrobeno ze slitiny hliníku, pokryté vrstvou umělé kůže. Uvnitř tělesa jsou zabudovány tři snímače zachycující zrychlení. Základem konstrukce impaktoru stehenní části je ocelová trubka, kolem které jsou umístěny dvě vrstvy materiálu z pěny zvané Confor. Vnější obalem je opět vrstva umělé kůže. V tomto impaktoru se nachází dva snímače zrychlení. Poslední impaktor dolní končetiny je složen ze stehenní části, deformovatelného kolenního kloubu a holenní části. Základem je tuhé těleso představující stehenní a holenní kost, na kterých je vyrobena pěnová vrstva reprezentující svalstvo. Vnější vrstvou je neoprénová pryž potažená nylonovou látkou z obou stran. Nad deformovatelným kloubem je umístěn tlumič. (36)

2.3 POUŽÍVANÉ MATERIÁLY PRO VÝROBU TESTOVACÍCH FIGURÍN

Na tělo figuríny bývá použito několik druhů materiálů. Kovové díly jsou vyrobeny z hliníku, oceli, bronzu a z pokovovacích materiálů. Dále je zahrnuto široké spektrum plastů, přesněji jde o plasty značky Delrin, urethan, polyuretanová pěna nebo vinyl. Většina figurín je oblečena tak, aby simulovaly reálné lidi. Existují speciální dodavatelé, kteří prodávají obleky, barvy a lepidla vyrobené přímo pro figuríny na označování důležitých cílů nebo měřících bodů. Ve skutečnosti se však do výbavy figurín nezapojují jen externí dodavatelé ale i federální testovací agentury, které schvalují design figurín a předepisují, jak by měla vypadat konstrukce a z jaké materiály by měly být použity. (20)

Vzhledem k různým druhům testů bezpečnosti vozidel se vyrábí také různé typy figurín, které jsou zaměřeny na jednotlivé slabiny vozidel. Každá z těchto figurín má zjišťovat mocnost zranění na určitých částech těla nebo přímo na těle jako celku. K některým crash testům nejsou podstatné například nohy nebo ruce figuríny a tak se při výrobě vypustí, a naopak jiné části se udělají detailněji, aby výstupní data byla co nejpresnější a nejpodobnější realitě.

Nejpoužívanější nárazovou figurínou na vyhodnocení bezpečnostních zádržných systémů v testování čelního nárazu je Hybrid III. 50. percentil muže. Figurína byla původně

vyvinuta firmou General Motors, nyní je však udržována a rozvíjena společností Humanetics ve spojení se Society of Automotive Engineers (SAE) a Národní dálniční dopravou a administrací bezpečí (NHTSA). Figurína se vyrábí v USA, ale je schválena i evropskými předpisy EHK. Nedávno provedené revize zlepšily biofidelitu ve stehenní kosti v rozsahu pohybu kotníku a chodidla. Figurína může být také aplikována v neautomobilovém průmyslu, jako jsou invalidní vozíky pro lékařské účely nebo pro sportovní vybavení.

Figurína Hybrid III. je velmi složité zařízení mající tvar a poměr hmotnosti stejný jako živý člověk. Figurína přesně odpovídá chování lidského těla v případě čelního nárazu vozidla a je schopna provádět měření sil, posunutí a zrychlení v různých částech těla. Musí být pečlivě vyráběna a certifikována dle stanovených kritérií, jako jsou celkové rozměry, hmotnost, parametry hrudníku, hlavy, krku, kolenního kloubu, bérce a nohy.

Konstrukce figuríny pro čelní náraz:

Hlava a krk: Lebka je vyrobena z hliníkového dílu s odnímatelnou vinylovou kůží. Krk je ze segmentovaného kaučuku a hliníkové konstrukce se středovým kabelem. Díky této konstrukci je přesně nasimulován lidský dynamický moment rotace, ohyb i natažení při reakci na náraz.

Horní část těla: Sestava z hrudní kosti a 6 ocelových žeber, vysoké pevnosti s polymerem na bázi tuhnutího materiálu, připojených k přední části obsahuje posuvník pro otočení potenciometru při průhybu hrudníku. Potenciometr je elektrotechnická součástka, která slouží jako regulovatelný odporový napěťový dělič. Získáním dat z potenciometru je možné změřit velikost průhybu hrudníku. Úhel mezi krkem a horní částí trupu je určen konstrukcí držáku krku, který může obsahovat snímač pohybu. Dvoudílné hliníkové části klíčních kostí v sestavě s lopatkami jsou propojeny s bezpečnostními pásy.

Dolní část těla: Válcovité gumové úchyty pro bederní část páteře jsou umístěny ve spodní části těla. Propojují tak páteř s pánví pomocí tříosého bederního siloměru. Pánev je vyrobena z vinylové kůže a polyuretanové pěny, které jsou nalisovány na hliníkový odlitek. Charakter pohybu nohy je simulován pomocí sférického kloubu na konci stehenní kosti, na které je nástavec se zarážedlem. Mezi kloubem a zarážedlem tak nastává moment rotace, který připomíná pohyb reálné lidské nohy. Kyčel, holenní kost a kotník mohou předpovídat zlomeniny kosti a koleno může být vyhozeno, což způsobí zranění vazů. Chodidlo a kotník simulují stlačení paty a tak rozsah pohybu v kotníku. (28)



Obrázek 19 – Průřez figurínou Hybrid III. 50-ti percentilního muže (34)

Pro zjištění kontaktu figuríny s airbagy, je hlava po celé ploše pokryta barvou, která se při nárazové zkoušce obtiskne do použitých airbagů. Pro lepší orientaci v otisku je navíc každá část hlavy namalována jinou barvou.



Obrázek 20 – Namalovaná figurína po nárazové zkoušce (29)

3 NÁVRH VHODNÝCH MATERIÁLŮ PRO VÝROBU TESTOVACÍ FIGURÍNY

3.1 ANATOMICKÁ STAVBA LIDSKÉHO TĚLA

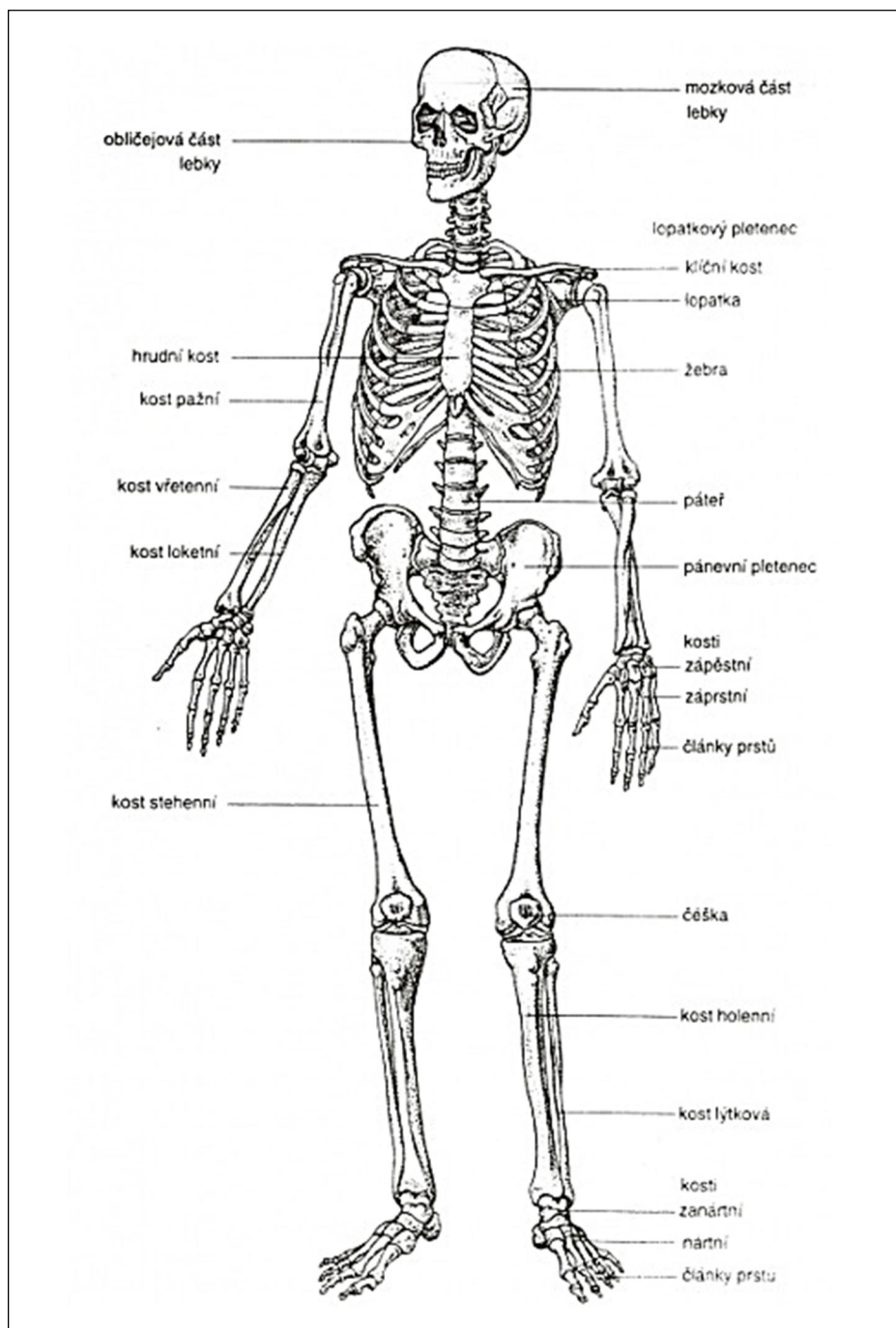
Lidským tělem se označuje veškerá hmota, která tvoří člověka. Je vytvořeno různými typy buněk, které tvoří tkáně a dále orgánové soustavy. Podpůrnou složku těla je kostra, která společně se svaly zajišťuje oporu a pohyblivost celého organismu. Celé lidské tělo je rozděleno na tři základní části, kterými jsou hlava, trup a končetiny.

Hlava je řídicím centrem lidského těla. Uvnitř hlavy se nachází mozek a většina smyslových orgánů. Tvrdá lebka určuje tvar hlavy a chrání mozek s ostatními orgány. Na čelní straně hlavy se nachází pár očí, nos, ústa a z boků pár uší. Hlava a trup jsou propojeny krkem. V zadní části trupu se nachází páteř, která prostupuje krkem až do hlavy. Páteř je tvořena obratli a umožňuje člověku vzpřímenou chůzi. Velké procento trupu zaujímají vnitřní orgány, které jsou chráněny hrudním košem tvořeným ze žebér a hrudní kosti. Hrudní koš je propojen s páteří a tvoří tak tvar celého trupu. Žebra jsou rozdělena na sedm párů pravých, tři páry nepravých a dvě volná. Uvnitř trupu vyjma mozku jsou uloženy všechny důležité orgány, bez kterých není člověk schopen života. Poslední základní částí stavby lidského těla jsou končetiny. Jsou párové a dělí se na horní a dolní. Všechny končetiny jsou tvořeny z kostí, kloubů, svalů a šlach. Pro manipulaci s předměty slouží horní končetiny. Jsou zakončeny rukama, které dokážou uchopit a přemístit předměty z okolí. Horní končetiny jsou s trupem propojeny pomocí ramene, které umožňuje velmi rozmanitý pohyb celé horní končetiny. Paže propojuje rameno a loket, ze kterého dále pokračuje předloktí navazující na ruku, která se skládá ze zápěstí, dlaně a pěti prstů v opozici. Dolní končetiny umožňují člověku pohyb po okolí. Vzpřímenou chůzí je člověk nucen nést celou svou váhu na dolních končetinách, což se projevilo na jejich stavbě. Trup a dolní končetinu propojuje kyčel. Z ní pak vede stehno do kolene. Běrec spojuje koleno a kotník, který spojuje nárt, chodidlo a prstce. Prstců je pět, ale žádný z nich není v opozici. (6)

Figurína určená pro analýzu dopravních nehod s chodci musí mít fyzickou a biologickou podobnost jako člověk. Hlavní záměr výroby figuríny je zjistit, jakým způsobem se po střetu s vozidlem bude pohybovat a jaká bude její konečná poloha. Pro tyto potřeby bude kladen důraz na poměrové velikosti segmentů lidského těla vzhledem k celkové výšce a hmotnosti a na mechanické vlastnosti. Naopak skladby svalů, kostí nebo orgánů budou pro účel figuríny zjednodušeny.

3.2 MATERIÁLY NA KOSTRU

Jednou ze základních součástí lidského těla je kostra, která představuje podpůrnou strukturu organismu a tvoří ochranu pro ostatní orgány. Je to soubor kostí, které společně tvoří pevnou, pasivně pohyblivou oporu těla. Lidská kostra zaujímá asi 14 % tělesné hmotnosti. Je složena z kostí srostlých a volných, které jsou propojeny vazy, šlachami, chrupavkami a svaly. U dospělého člověka tvoří kostru průměrně 206 kostí a několik chrupavek, jako jsou části ucha, nosu, v předních částech žeber nebo na povrchu kloubů. (5)



Obrázek 21 – Lidská kostra (7)

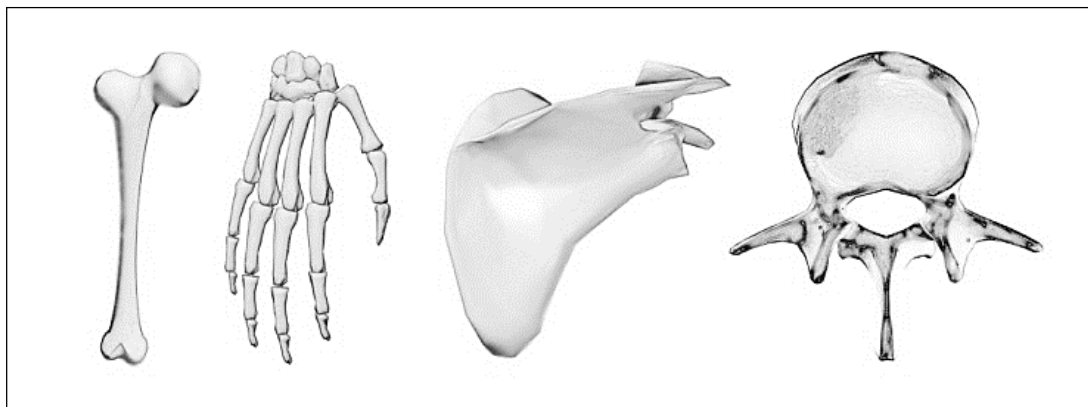
V lebce se nachází 29 kostí, 26 tvoří páteř, hrudní koš je složen z 25 kostí, z 64 kostí se skládají horní končetiny a 62 kostí nalezneme v dolních končetinách. Dělí se na dlouhé, krátké a ploché. Jejich rozměry jsou rozmanité, např. nejdelší kost stehenní, jejíž délka může přesahovat i půl metru u některých jedinců, až po ty několikamilimetrové kůstky středního ucha. Nejdelší kost stehenní, jejíž délka může přesahovat i půl metru u některých jedinců, až po ty několikamilimetrové kůstky středního ucha. (5)

Vzhledem k množství kostí byla kostra figuríny zjednodušena. Množství kostí by bylo pro účely figuríny nadbytečné a ztížila by se tím výroba i následná recyklace. Kostrou se zabývala v diplomové práci Bc. Martina Kostíková. Kosti budou nahrazeny dřevěnými kulatinami. Propojeny budou klouby z duralu. Hrudní koš bude zjednodušen tvarem i množstvím žeber. Bude sestaven z dřevěných částí, pryže a duralu. Páteř nebude ve dvoj-esovitém pronutí, bude mít vzpřímený tvar a bude sestavena z duralových a pryžových částí, které budou spojeny lankem. Hlava bude také z duralu. Vzhledem k použitým materiálům, kostra nebude mít totožné procentuální zastoupení hmotnosti jako lidská. (13)

3.2.1 Kosti

Kosti jsou velmi tvrdé a odolné, ale zároveň pružné struktury, sloužící jako mechanická ochrana vnitřních orgánů. Jsou oporou těla, tvořící kostru, na kterou se upínají šlachy a svaly. Kost se skládá z okostice, což je pevná vazivová blána na jejím povrchu, a kostní dřevě, která se nachází uvnitř kostí a dělí se na červenou, žlutou a šedou kostní dřevě. Kosti se rozlišují podle tvaru na kost dlouhou, kterou jsou tvořeny kosti končetin, krátkou, kterou můžeme najít v zápěstí nebo nártu, plochou, kterou je například žeberní kost nebo pánev, a nepravidelnou, kterou příkladem zastupují obratle. (6)

Ideální náhradou lidských kostí by byly kosti zvířecí, přesněji prasečí kosti. Ty bohužel nemají dostačující parametry na sestavení lidské postavy vzhledem k jejich rozměrům. Například kost stehenní by se nedala nahradit některou kostí z prasete. Další alternativou kosti by mohlo být dřevo. Díky své struktuře je velmi pevné, ale stejně jako kosti i pružné a lehké. Bylo potřeba si uvědomit, že každý druh dřeva má různorodé vlastnosti.



Obrázek 22 – Typy kostí: zleva kost dlouhá, kosti krátké, kost plochá a kost nepravidelná (41)

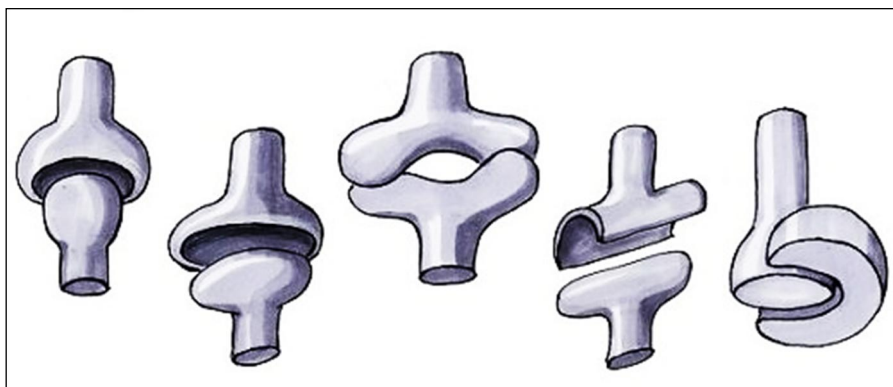
V diplomové práci Bc. Martiny Kostíkové bylo uvažováno 19 druhů dřeva, u kterých se zjišťovala pevnost a porovnávala se s pevností jednotlivých kostí v lidském těle. Následně se vypočítaly průměry dřevěných součástí, které budou simulovat jednotlivé kosti u všech typů dřev. Mezi porovnatelné vlastnosti patřilo například napětí v tahu nebo součinitel bezpečnosti. Proběhly výpočty a po porovnání všech výsledných hodnot byl nalezen vhodný typ dřeva. Nejideálnější dřevinou vzhledem k podobnosti vlastností lidských kostí je olše. Olše tedy zastoupí veškeré části v kostře, které mají představovat kosti. U hrudního koše se žebra tvarují do oblouku, v této části kostry tedy bude nutné olšové dřevo ohýbat, aby se tak zachoval tvar lidského těla. (13)

3.2.2 Klouby

Klouby jsou spojením dvou nebo více stýkajících se kostí. Představují zároveň ohebné místa lidského těla. Kloub sestává z dvou styčných ploch, které jsou kryté chrupavkou. Jednou z nich je kloubní hlavice, což je vypouklá koncová část jedné z kostí, a druhou plochou je kloubní jamka, která má v druhé koncové části kosti vyhloubený prostor. Díky tomu do sebe jedinečně zapadají. Kloubní pouzdro je uzavírající částí kloubu, které z vnitřní strany produkuje kloubní maz zmírňující tření a zajišťující pevné přilnutí kloubních ploch k sobě. Z vnější části se pak nacházejí vazy.

Jednotlivé klouby umožňují pohyb určitým částem těla. Klouby je možné rozdělit podle stupně vzájemné pohyblivosti spojených kostí, podle druhu pohybu, který mohou kosti vykonávat, nebo z hlediska druhu tkáně, která kosti spojuje. (5) (6)

Stupněm vzájemné pohyblivosti se rozumí pohyblivá spojení, jako jsou kolena, ramena, prsty, polo-pohyblivá spojení, kterými jsou třeba páteř nebo kosti chodidla, a nakonec pevná spojení, která nalezneme v lebce. Podle druhu pohybu, který mohou kosti provádět, se klouby rozdělují na závěsný (loket), kondylové (koleno), válcové (prsty), oválné (zápěstí), elipsoidní (spojení kosti vřetenní a kosti loďkovité), kulovité (rameno), ploché (kosti chodidla), čepové (krk) a sedlové (kotník), tuhé (obratle). (5) (6)



Obrázek 23 – Typy kloubů: zleva kulovitý, kondylový, sedlový, závěsný, plochý (38)

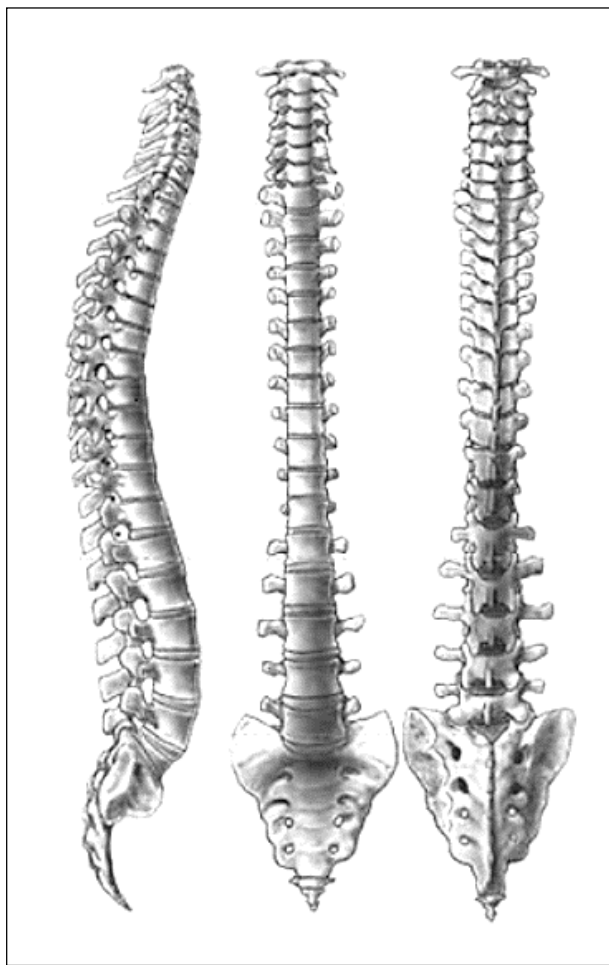
Klouby v lidském těle jsou velmi komplikované a jejich možnost rotací je velice těžké simulovat v praxi. V diplomové práci Bc. Martiny kostíkové byly na kostře použity jen dva druhy kloubů a to kloub kulový, který bude v ramenech a kyčlích, a klouby kondylové a závěsné byly zjednodušeny do kloubového systému, který bude simulovat klouby v lokti a kolenu.

Kloub ramenní je složen ze dvou primárních částí, kterými jsou kulovitá část a mísa. Díky tomuto mechanismu je kloubu umožněno rotovat ve třech směrech. Loketní kloub se skládá ze tří částí. Jednou z nich je část, která drží pažní kost. Druhou částí je uchycení loketní a vřetenní kosti a třetí část zaujímá čep loketního kloubu. Poslední částí je kolík, který zabraňuje maximálnímu rozsahu předloktí při ohýbání. Kyčelní kloub byl vymodelován na stejném principu jako ramenní kloub a má tak totožné vlastnosti. Kolenní kloub je opět podobně řešený jako kloub loketní. (13)

Nejvhodnějším materiálem na výrobu kloubů by byl svařitelný dural, což je obvykle slitina hliníku, mědi a dále s menšími přísadami manganu, hořčíku, křemíku, aj. Dural se však může dost lišit vlastnostmi, proto pro upřesnění by byla nejvhodnější slitinou 6061, která má dobrou pevnost, tvrdost i obrobitelnost, ale především má výborné technologické vlastnosti, kterou je pro výrobu figuríny nejdůležitější svařitelnost. (9)

3.2.3 Páteř

Páteř je součástí kostry lidského těla. Umožňuje člověku chůzi vzpřímeně a v jejím nitru se táhne mícha, kterou páteř chrání. Mezi její další funkce patří zajišťování pohybu (předklon, záklon, úklon v bok a otáčení trupu kolem svislé osy). Páteř je poskládána z řady obratlů, mezi kterými se nachází meziobratlové ploténky. Je tvarována do zdvojeného písmene S, zakřivení dopředu krční a bederní páteře a zakřivení dozadu hrudní páteře a kosti křížové. Zakřivení poskytuje páteři pružnost. Páteř je součástí hrudního koše. Na jejím vrcholu je navázána na lebku a ve spodní části je propojena s pánví. (2)



Obrázek 24 – Lidská páteř: zleva pohled z boku, pohled zepředu, pohled zezadu (30)

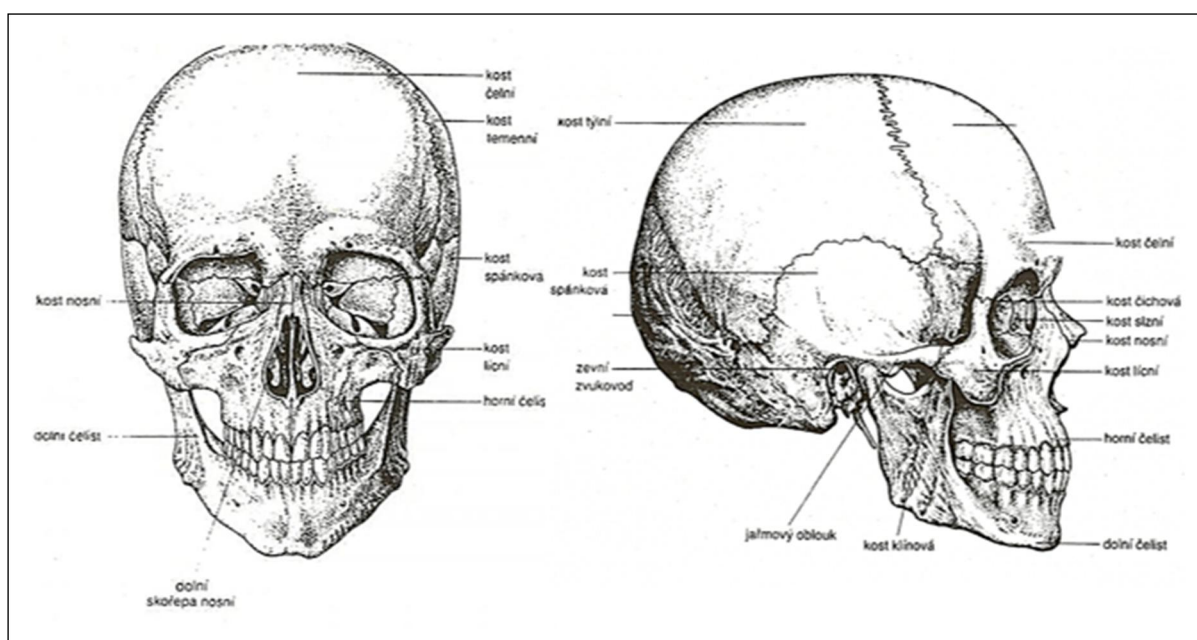
Páteř byla navržena tak, aby byly zachovány její základní funkce, což jsou držení těla ve vzpřímené pozici a umožnění základního pohybového rozpětí. Pro její zjednodušení byla páteř narovnána, neboť esovité prohnutí páteře pomáhá především k utlumení nárazů a tuto vlastnost lze pro využití figuríny opomenout. Páteř byla vykonstruována pomocí nerezových obratlů a pryžových meziobratlových plotének obdélníkového tvaru. Jednotlivé součástky byly

zkosené. Díky těmto tvarům bylo možné se přiblížit vlastnostem páteře. Všechny tyto součástky jsou nakonec propojeny lankem, které je drží pohromadě.

Aby byl model co nejjednodušeji opravitelný, většina duralových obratlů je stejných, stejně jako u všech pryžových meziobratlových plotýnek. Rozdílnost obratlů je pak u prvního a posledního, které mají díry na uchycení lana propojující všechny obratle a ploténky. První obratel má navíc ještě další vyhloubené díry se závitem pro upevnění hlavy. Další odlišnost v prohloubených dírách je u obratlů, které drží žebra. (13)

3.2.4 Lebka

Kostra hlavy neboli lebka, je označována za skupinu kostí, které tvoří hlavu. Z převážné části je tvořena plochými kostmi, propojenými vazivovými švy představující nepohyblivé kloubní spojení, které v dospělém věku srostou a vytvoří tak velmi pevný útvar. Lebku můžeme rozdělit na obličejovou a mozkovou část. Obě části dohromady dávají 29 hlavových kostí, mezi které se přiřazují i tři sluchové kůstky ve středních uších a jazyka, které nejsou pevně propojeny se zbytkem lebečních kostí. (7)



Obrázek 25 – Lebka: zleva čelní pohled a zprava z profilu (30)

Vzhledem k celistvosti lebečních kostí byla lebka vymodelována z jednoho dílu. Lebka není přímo úměrná k velikosti zbytku těla, takže byla navržena v rozměrech velikosti lebky u průměrně velkého muže. Na výrobu lebky by byl stejně jako u kloubů nejvhodnější dural, tedy

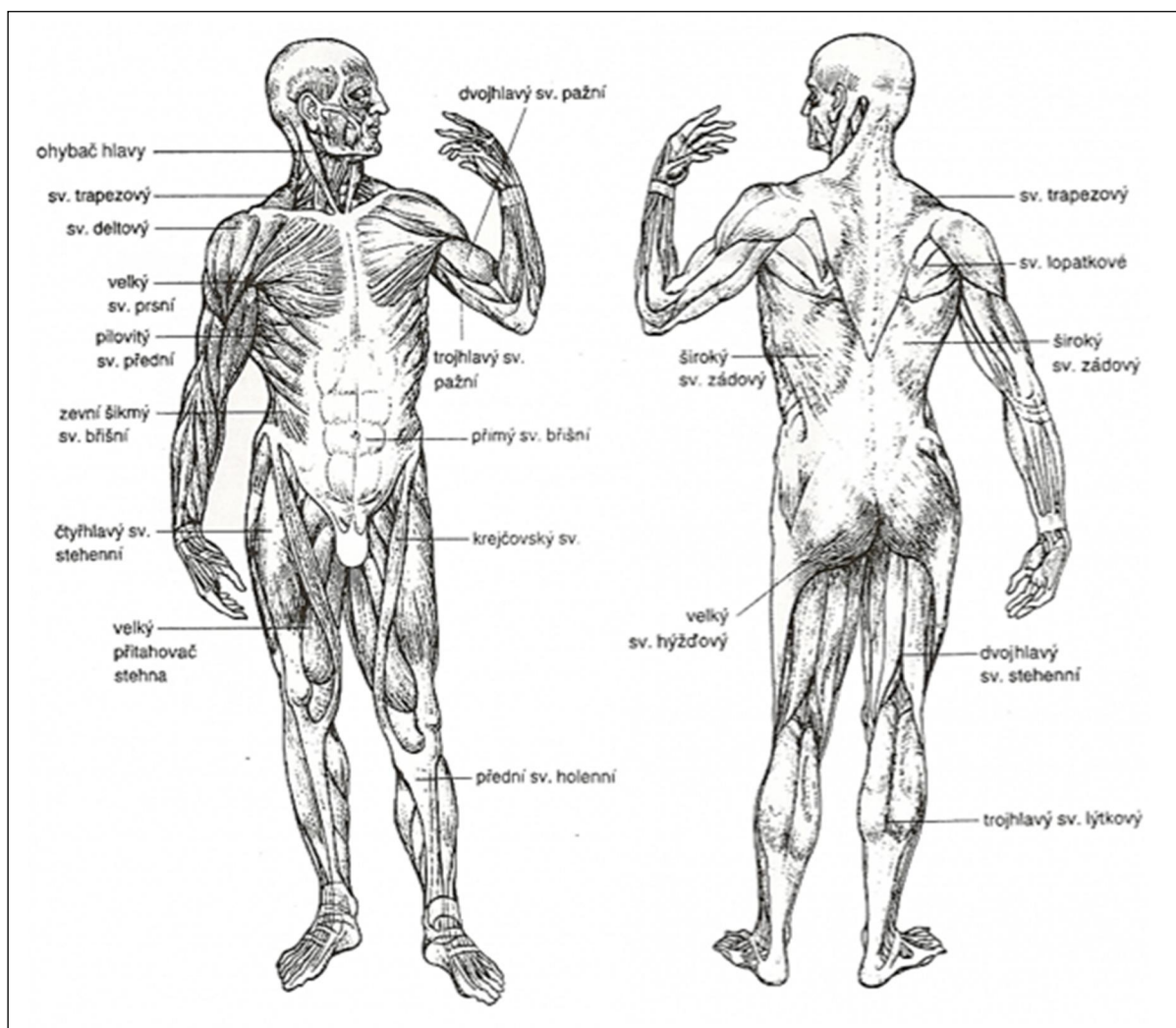
slitina hliníku 6061. Uvnitř modelu lebky byla vytvořena dutina a to hned ze dvou důvodů. V první řadě se dutinou ušetří materiál a navíc se prostor využije pro vložení akcelerometru, díky kterému by bylo možné změřit rychlost dopadu hlavy na nějaký objekt a následně tak vyhodnotit, zda by náraz byl smrtelný. Vzhledem k použití slitiny hliníku bude celková hmotnost hlavy asi o polovinu menší. Pokud by to dělalo problémy, bylo by možné to již zmíněné dutiny vložit závaží, neboť lebka byla vytvořena na dva díly kvůli potřebě dostat se k akcelerometru. Díly jsou propojeny šroubem. (13)

3.3 MATERIÁLY NA MĚKKÉ TKÁNĚ

Nejvhodnější náhradou lidské měkké tkáně by bylo vepřové maso. Vzhledem k jeho zkazitelnosti a špatné recyklaci by nebylo vhodným materiálem. Struktura masa je jedinečná. Kompaktní propojení všech buněk znemožňuje najít obdobný materiál. Proto nebude kladen důraz na stejnou stavbu materiálu na měkké tkáně, ale na jeho biofidelitu. Měkkou tkáň by tak mohla reprezentovat gelující hmota, která po ztuhnutí bude vlastnostmi připomínat lidskou měkkou tkáň. Vnější vrstvou gelující hmoty by pak měl být pružný materiál, který by držel hmotu pohromadě a zároveň tak simuloval lidskou kůži.

3.3.1 Svaly

Aktivně pohyblivou částí lidského těla jsou svaly neboli svalovina. Sval je orgán, který je vytvořen svalovou tkání. Veškeré svaly utváří svalovou soustavu. Primární vlastností svalové tkáně je způsobilost se stahovat (kontrahovat). Tento děj se nazývá svalový stah a je důsledkem mnoha řetězových chemických reakcí, které jsou způsobeny především podrážděním svalu a také dostatečnou zásobou energie ve svalu. Svalová tkáň se dělí na několik typů. Těmi jsou kosterní svalovina, hladká svalovina, srdeční svalovina a myoepiteliální tkáň - druh epitelu, umožňující například vylučování žláz. Dalším rozdělením svalů může být podle tvaru a vzhledu. Rozlišujeme svaly vřetenovité, dlouhé, krátké, ploché, obé nebo podle počtu hlav (dvouhlavý, trojhlavý, čtyřhlavý). Také můžeme rozdělit svalovinu podle průběhu svalových snopců na svaly šikmé, příčné, přímé, kruhové, nebo podle místa uložení, jako jsou například svaly na povrchní, hluboké, mediální, laterální. Svaly také můžeme označovat podle krajiny, například břišní sval, prsní sval, sval hýžděový, atd. (6)



Obrázek 26 – Povrchové svaly na lidském těle (30)

Z důvodu enormního množství svalů a komplikovanosti jejich usazení se veškeré svalstvo nahradí gelující látkou, která bude nejvíce připomínat vlastnostmi lidské svalstvo. Hmota by měla být pružná a kompaktní, ale ne příliš, aby bylo možné ji narušit. Na zastoupení lidského masa byly nalezeny tři varianty materiálů.

Balistická želatina

Nejlepším testovacím médiem by byla balistická želatina, která je z vědeckého hlediska srovnatelná s lidskou svalovou tkání. Balistická želatina je známá pro simulace možných účinků střelných zranění, pro potřeby testování figuríny by tak měla být stejně ideální. Zmíněné medium bylo vyvinuto Martinem Facklerem. Medium je vlastně roztok z práškové želatiny a vody. Balistická želatina má velmi podobnou hustotu i viskozitu jako je svalová tkáň u lidí nebo zvířat. Použita může být v teplotách od $-23,3^{\circ}\text{C}$ až do 35°C . Na výběr je 10% a 20%

roztok želatiny. Nejčastěji se používá 10% roztok balistické želatiny, který se připraví rozpuštěním 1 dílu želatiny a 9 dílů teplé vody, želatinový prášek se sype do teplé vody za stálého míchání. Balistické gely vytvořené z přírodních želatin jsou obvykle žluto-hnědé barvy a nejsou znovu použitelné. Dnes už jsou k dostání i novější syntetické náhražky navržené tak, aby přesně simulovaly balistické vlastnosti přírodní želatiny, jsou ale bezbarvé nebo křišťálově čiré, jak můžete vidět na obrázku č. 27. Existují i syntetické gely, které je možné používat opakovaně. Je možné je roztavit a přeformátovat do jiného tvaru vícekrát bez ztráty balistických vlastností gelů, přesněji *10-15krát*. (18)



Obrázek 27 – Zleva přírodní balistická želatina a zprava syntetická balistická želatina (19)

Na výrobu figuríny by byla nejvhodnější právě syntetická balistická želatina díky jejímu opakovatelnému použití. Křišťálově průsvitnou hmotou by navíc bylo znatelně rozeznat, zda se kost uvnitř zlomila či nikoliv. Problém však nastává v přípravě balistického gelu, co se týče vytvoření potřebného tvaru a následného přetavení opět do stejného tvaru. Gel je totiž nutno 4 h zahřívat na 92°C, aby se stal tekutým. Následně se přelije do formy, ve které se peče opět při stejné teplotě další 4 h, díky čemuž se vypaří téměř všechny bublinky. Poté se musí nechat balistická želatina vychladnout na 12-24 h. Nevýhodou balistického gelu je velice vysoká cena, která ostatní materiály překračuje pětinasobně a více. (18)

Silikonový polymer Lukopren N 1000

Další možnou variantou na simulaci lidského masa je silikonový polymer Lukopren N 1000, který za normální teploty po přidavku katalyzátoru vytváří silikonovou čirou pryž. Tento dvousložkový silikonový kaučuk je primárně používán k zalévání součástek v elektrotechnice. Vulkanizát je odolný vůči povětrnostním vlivům, slunečnímu záření a trvalému působení vody. Má separační vlastnosti vůči neporézním povrchům, odolává tepelnému zatížení, chemickému působení slabých kyselin, zásad a roztoků solí. Hmotu je možné slepit pomocí přípravku Lukopren Primer N. Má transparentní barvu, ale je možné ji probarvit různými druhy pigmenty v přípravcích stejné značky.

Silikon se připravuje promícháním s $0,05 - 0,1 \text{ hm. \%}$ vody pro zaručení rovnoměrné vulkanizace v celé hmotě a dále se odměří 2 hm. \% Lukopren Katalyzátoru N. Tato dávka umožňuje poměrně rychlý odchod bublinek z vulkanizátu i ze silnější vrstvy a vytváří pružné vlastnosti látky. Následně se musí směs důkladně promíchat a nalít do připravené formy. Silikon by měl být provulkanizovaný za dobu $12-24 \text{ h}$. Vzhledem k použité tloušťce se však předpokládá delší doba vulkanizace. (31)

Silikon Lukopren N 1000 byl doporučen kolegy z fakulty výtvarné z oddělení sochařství, i když přímo s tímto druhem ještě neměli zkušenosti. Proto se zakoupil a vyzkoušely se jeho vlastnosti.

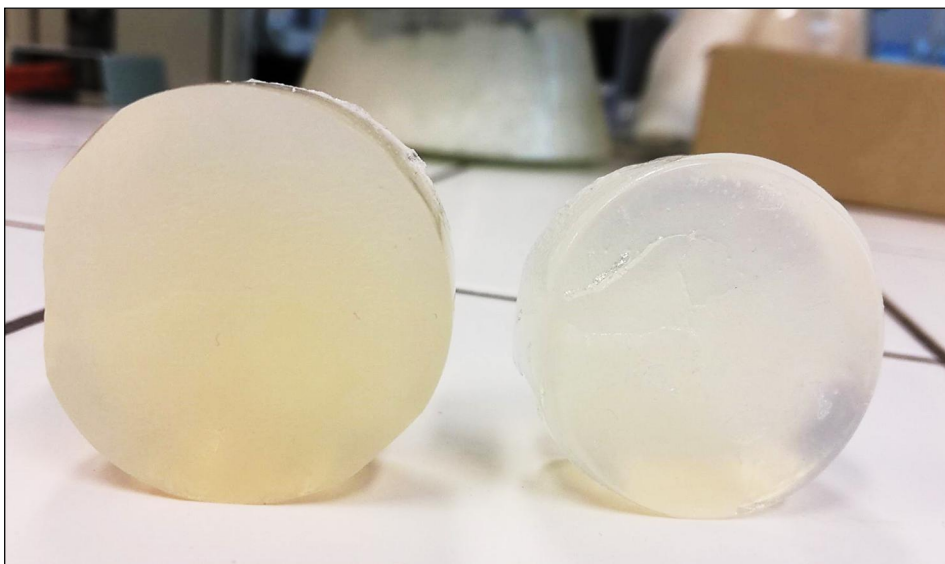
Agar GRM026

Posledním uvažovaným gelujícím materiálem je agar. Agar je přírodní rosolovitá hmota s vysokou gelující schopností, která se vyrábí z červených mořských řas rodu *Gelidium* a *Florididae*. Tato hmota byla objevena na přelomu 50. a 60. let minulého století japonskem Mino Tarōzaemonem. Agar je proto známý jako japonská želatina, kanten nebo E406. Agar má mnoho druhů. Hlavním využitím agaru je v potravinářství nebo v biomedicíně. Potravinový agar je nevhodný, protože má vyšší procento cizí organické hmoty (více než 10%), což vede k jeho znehodnocení. (1)

Ing. Petr Maršálek udělal pokusy s Agarem PTC0901 ve své diplomové práci. Podle vlastností byla hmota správně vybrána, ale koncentrace $1,33 \%$ roztoku byla příliš řídká, což mělo špatný vliv na tuhnutí. Zmíněný typ měl nízké procento cizí organické hmoty, což se projevilo na ceně agaru, přičemž pro účely figuríny je tato vlastnost nadbytečná vzhledem k primární potřebě mechanických vlastností. Proto byl navržen bakteriální Agar GRM026,

který má stejné mechanické vlastnosti a je i finančně přijatelnější. Agar GRM026 je prášek speciálně vyráběn pro použití v bakteriologických a tkáňových kultivačních médiích. Má cizí organickou hmotu pod 10 %, je rozpustný při teplotách nad 85°C a zároveň jeho bod tuhnutí je 38 – 40°C, což jsou důležité parametry pro výrobu potřebné hmoty. (14)

Aby hmota vytuhla, bylo potřeba poupravit koncentraci roztoku. Byly otestovány dvě koncentrace roztoku, 2 % a 4 %.



Obrázek 28 – Zleva 4 % a 2 % vzorky agaru GRM026 (zdroj: autorka)

Vlastnosti Agaru GRM026 byly zjištěny pomocí oscilačních testů. Na oscilační test se používá přístroj zvaný reometr TA Instruments AR-G2 a měří se na něm viskoelastické moduly v závislosti na frekvenci oscilací nebo amplitudě deformace jednotlivých hmot. Na test byl použit kousek hmoty z každého materiálu a jeden kousek masa z vepřové kýty na porovnání výsledků. Testované hmoty musely mít požadovanou velikost průměru 25 mm a šířku 1 mm, jelikož byl použit ocelový senzor typu deska-deska s průměrem 25 mm a velikostí měřicí štěrby 1 mm. Probíhají dva druhy měření.

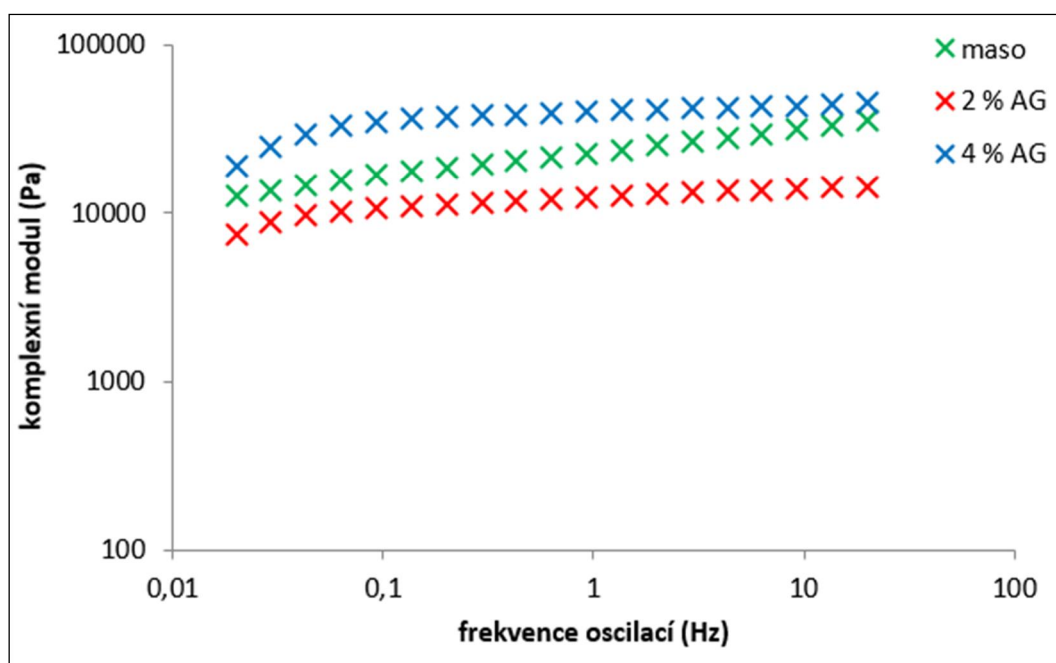
Strain Sweep měření

Tento typ měření zjišťuje procentuální velikost gama při oscilaci 1 Hz a teploty 25°C. Test probíhá asi 4 minuty. Na hmotu působí amplituda deformace od 0,1 – 1000 % a je měřena v 6 bodech na dekádu. Z výsledného grafu je pak možné vyčíst elastický (G') a viskózní (G'') modul. Požadovaným výsledkem je pak zjištění lineární viskoelastické oblasti v procentech, který se pak stává součástí dalšího měření, tzv. Frequency Sweep.

Frequency Sweep měření

Při testu hmota osciluje v rozmezí $0,01 - 20 \text{ Hz}$, při velikosti zjištěné lineární viskoelastické oblasti v procentech z předchozího měření Strain Sweep, za teploty 25°C a $0,4 \%$ amplitudy deformace. Měří se opět v 6 bodech na dekádu. Z výsledného grafu zjišťujeme velikost G' a G'' vzhledem k velikosti frekvence.

Výsledné porovnání bude na základě výsledků komplexního modulu (G^*).



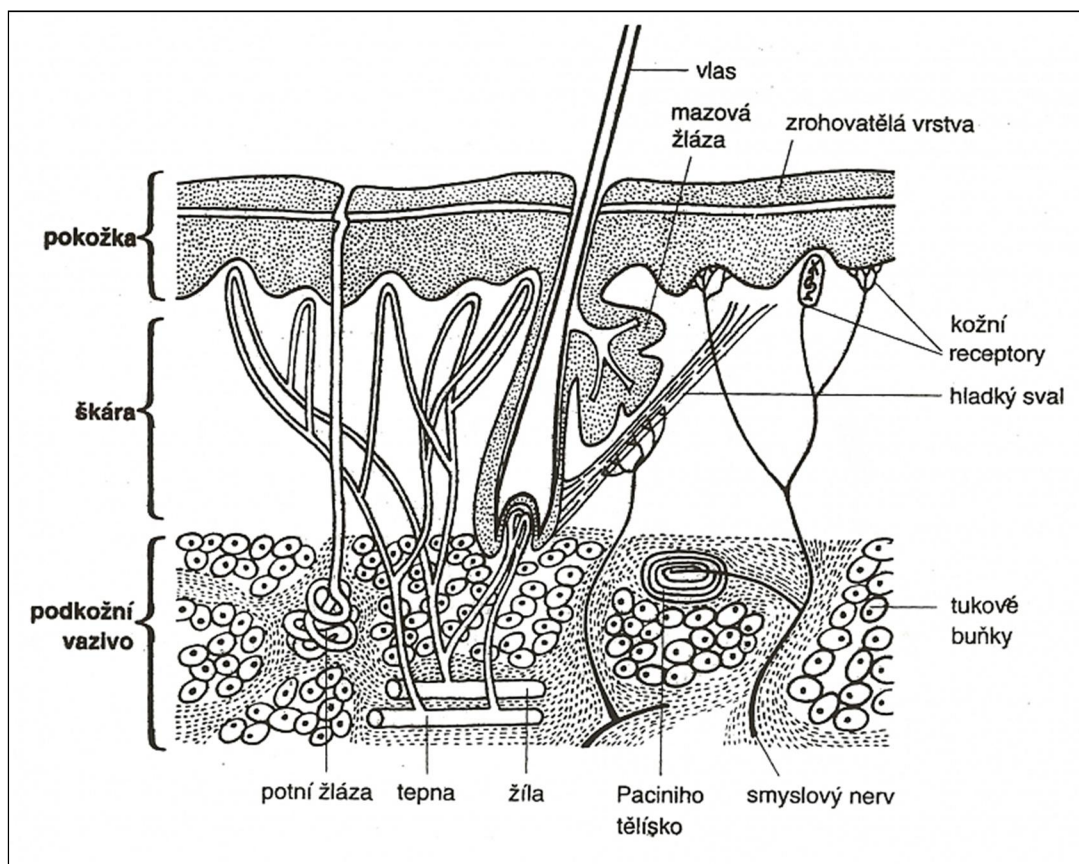
Obrázek 29 – Graf s výsledky komplexního modulu se vzorky 2 %, 4% agaru a masa (zdroj: autorka)

Nejpodobnější mechanické vlastnosti masu vykazoval 4 % vzorek agaru.

3.3.2 Kůže

Kožní ústrojí, spolu s přídatnými útvary jako jsou vlasy, chlupy, nehty, žlázy, svaly, receptory nebo nervy, považujeme za orgán pokrývající lidské tělo. Kožní ústrojí neboli kůže chrání a odděluje vnitřní organismus od vnějšího prostředí. Kůže má hned několik funkcí, jakými jsou kožní cití, udržování tělesné teploty, vstřebávací kapacita, patří k vylučovací soustavě nebo může být zásobárnou krve. Kůži tvoří pokožka, povrchová epitelová vrstva, a škára, hlubší

vazivová vrstva. Nejhlubší vrstvou je podkožní vazivo, které je uloženo pod škárou, je složeno z tukového vaziva. (6)



Obrázek 30 – Lidská kůže (30)

Na kůži bude použita potravinářská fólie. Její funkcí bude držení hmoty v celistvém stavu, a zachování vlhkosti hmoty v případě použití agaru, aby nevyschl a nepřišel tak o své vlastnosti. Zároveň bude také fólie chránit hmotu před nečistotami.

Nejsvrchnější vrstvou bude neopren, který zajistí, aby nedocházelo k separaci hmoty při nárazu. Díky tomu tak bude umožněna jednoduchá recyklace poškozené figuríny. Vzhledem k manipulaci by bylo lepší, kdyby byl použit neopren dvoudílný, tedy zvlášť kalhoty a zvlášť bunda. (14)

3.4 MATERIÁLY NA RUCE A NOHY

Zakončení horních a dolních končetin jsou pro potřeby figuríny méně podstatné části, které je možné zjednodušit. Hlavním požadavkem na figurínu z hlediska zakončení končetin je, aby se

co nejvíce podobala lidskému tělu. Proto budou použity jednoduché náhrady nebo makety určitých částí.

Segmenty rukou budou nahrazeny stejnou hmotou jako zbytek těla v požadovaném tvaru. Toho docílíme pomocí páru gumových rukavic. Do každé rukavice bude nalita gelující hmota, která se nechá ztuhnout. Hmota se po ztuhnutí vyklepne a tím tak vzniknou náhrady ruky, které se připevní na zápěstní části kostry.

Segmenty nohou budou představovat vhodné protézy nebo dřevěné makety, které se pomocí šroubů upevní na části kotníků kostry.



Obrázek 31 – Protéza nohy (15)

4 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU NA VÝROBU TESTOVACÍ FIGURÍNY

4.1 PARAMETRY LIDSKÉHO TĚLA

Pro vytvoření figuríny bylo nutné uvažovat, jakým způsobem se rozkládá hmotnost lidského těla. Aby byla figurína poměrově správně vytvořená, bylo potřeba zjistit, kolik kilogramů váží jednotlivé části lidského těla a jaký procentuální počet zaujímají, aby se tak došlo k přesné hodnotě objemu jednotlivých částí. Tyto části se nazývají segmenty lidského těla. Mezi segmenty patří hlava, trup rozdělen na tři části vzhledem k jeho nehomogenitě, horní končetiny, které se dělí na nadloktí, předloktí a ruku, a dolní končetiny, které se skládají ze stehna, bérce a nohy. Vzhledem k různorodosti velikosti lidí je důležité rozpočítat tyto segmenty podle přesné výšky a hmotnosti vybraného jedince. Poměrně přesná metoda je založena na výzkumu Zaciorského a Selujanova (1979), kteří na základě výzkumu 100 osob radioizotopickou metodou experimentálně stanovili koeficienty B_0 , B_1 a B_2 pro každý segment, které se nachází v tabulce č. 2. Pomocí rozměrů výšky v centimetrech, váhy v kilogramech a těchto třech koeficientů můžeme vypočítat hmotnost každého segmentu pro jakoukoli velikost figuríny. (4)

Tabulka 2 – Koeficienty pro výpočet hmotnosti jednotlivých segmentů (4)

SEGMENT	B_0 (kg)	B_1	B_2 (kg.cm ⁻¹)
<i>Hlava</i>	1,296	0,0171	0,0143
<i>Trup - horní část</i>	8,2144	0,1862	-0,0584
<i>Trup - střední část</i>	7,181	0,2234	-0,0663
<i>Trup - dolní část</i>	-7,498	0,0976	0,04896
<i>Stehno</i>	-2,649	0,1463	0,0137
<i>Bérec</i>	-1,592	0,03616	0,0121
<i>Noha</i>	-0,829	0,0077	0,0073
<i>Nadloktí</i>	0,25	0,03013	-0,0027
<i>Předloktí</i>	0,3185	0,01445	-0,00114
<i>Ruka</i>	-0,1165	0,0036	0,00175

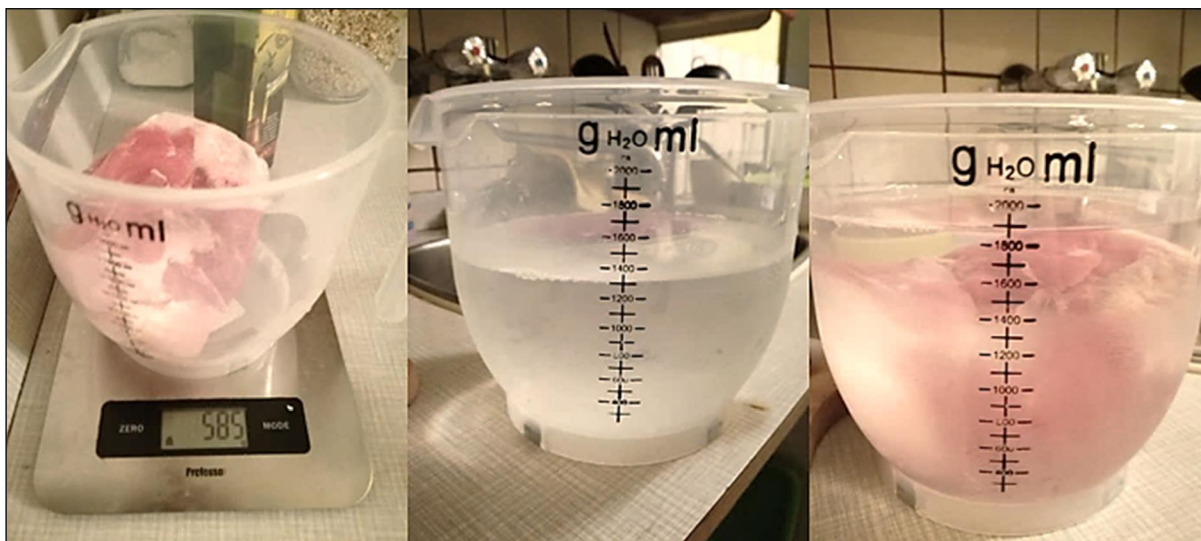
Pro vyjádření hmotnosti jednotlivého segmentu pak platí jednoduchá rovnice:

$$m_i = B_{0i} + B_{1i} * m + B_{2i} * v \quad (1)$$

m (kg) je celková hmotnost pokusné osoby,

v (cm) je výška pokusné osoby. (4)

Jakmile byla získána hmotnost jednotlivých segmentů lidského těla, pomocí trojčlenky byly spočítány procentuální hodnoty jednotlivých segmentů a z těch následně objemy segmentů. Pro výpočet objemu bylo nutné znát hustotu lidského těla. Hustotu je možné změřit jednoduchým testem. Vzhledem k náročnosti získání lidského masa bylo zaměněno za maso vepřové. Z mnoha pokusů je totiž patrné, že prase domácí je anatomicky velmi podobné člověku, a proto je tak ideálním zvířetem používaným při experimentech. Na test bylo tedy potřeba kus vepřového masa, nádoba s měrkou, voda a kuchyňská váha. Nejprve byl zvážen kus vepřového masa. Dále byla nalita voda do nádoby s měrkou v libovolném množství, ideálně však tak, aby bylo z rýsky jasné, kolik přesně mililitrů vody v nádobě je. Množství vody bylo zapsáno a následně do ní vložen kus masa. Hladina vody byla okamžitě změněna na vyšší stupínek měrky. Tato hodnota byla opět zapsána. (37)



Obrázek 32 – Měření hustoty vepřového masa (zdroj: autorka)

V dalším kroku bylo odečteno první naměřené množství vody od druhého, čímž byla zjištěna hodnota objemu vepřového masa. Poté byl proveden výpočet pomocí vzorce pro hustotu, kdy hmotnost masa v kilogramech byla podělena objemem masa v litrech. Výsledek je roven hustotě masa, tedy 975 kg.m^3 .

Vzorec pro výpočet hustoty:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

m (kg) je hmotnost vepřového masa,

V (l) je objem vepřového masa.

Tento vzorec byl opět použit pro výpočet objemu lidského těla. Tentokrát byl vzorec vyjádřen pro objem. Hodnota hustoty byla použita z výpočtu hustoty vepřového masa a za hmotnost dosazena celková hmotnost naší budoucí figuríny. Výsledek objemu hmoty potřebné pro výrobu figuríny bylo potřeba opět přepočítat za pomoci trojčlenky na objemy jednotlivých segmentů figuríny.

Hodnoty pro velikost budoucí figuríny byly zvoleny podle průměrné velikosti člověka, tedy výška 170 cm a váha 65 kg. Z těchto hodnot byly dále vypočítány další parametry pro jednotlivé segmenty, se kterými se bude nadále pracovat při výpočtech velikostí forem v další kapitole. Délky segmentů byly odvozeny z výkresů z diplomové práce Bc. Martiny Kostíkové, která vycházela z průměrné velikosti muže. (13)

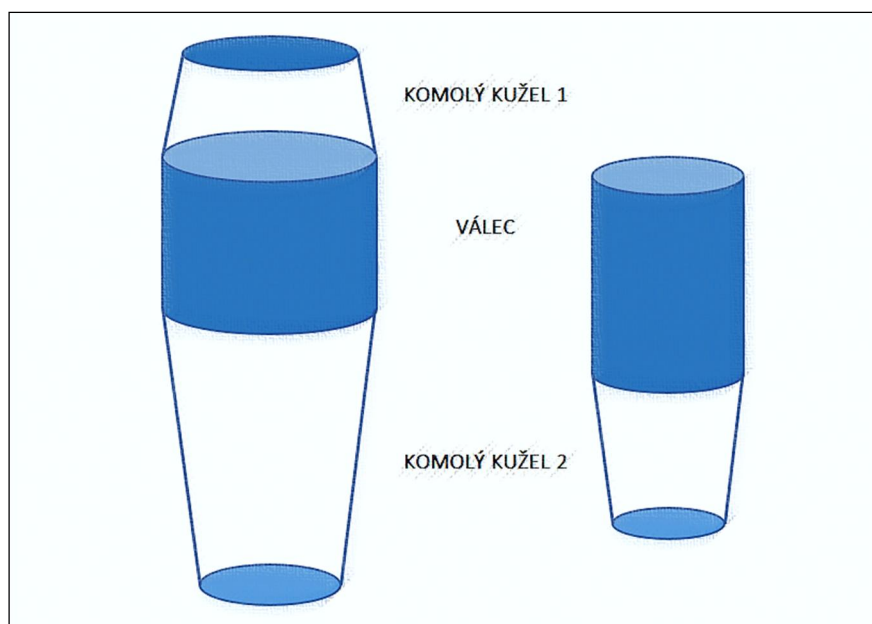
Tabulka 3 – Výpočty parametrů jednotlivých segmentů (zdroj: autorka)

	Segmenty								
FIGURÍNA	Hlava	Trup	Stehno	Bérec	Noha	Nadloktí	Předloktí	Ruka	Celkem postava
Délka (m)	-	0,6776	0,3700	0,3000	-	0,2740	0,2120	-	1,70
Hmotnost (kg)	4,839	27,990	9,190	2,815	0,913	1,749	1,064	0,415	65,00
Objem (m ³)	0,00494	0,02856	0,00938	0,00287	0,00093	0,00179	0,00109	0,00042	0,06633
Rozložení (%)	7,40	43,00	14,10	4,32	1,40	2,67	1,63	0,64	100

4.2 FORMY NA VÝROBU FIGURÍNY

Nejjednodušším provedením by bylo vytvořit jednotnou formu pro celou figurínu. Tato varianta však není možná hned z několika důvodů. Byla by velmi komplikovaná vzhledem k tvaru lidského těla, musela by být nějakým způsobem otevírací pro vložení kostry a vyjmutí hotové figuríny, ale zároveň i dobře těsnící, aby gelující medium nemělo možnost vytékat. Další nevýhodou takové formy by byla jak výrobní, tak finanční náročnost. Forma by dosahovala velkých rozměrů a vzhledem k nutnosti kovového materiálu kvůli dlouhodobé životnosti by měla i velkou hmotnost. I přes pominutí těchto všech negativních podmínek má však zásadní problém. Zalitím celé figuríny, tedy i všech kloubů, gelující hmotnou, by po zatuhnutí zabráňovala pohybu kloubům, což by bylo pro vlastnosti figuríny jako zásadní nedostatek.

Bylo tedy více než nutné, vytvořit více forem, které by se separovaly od již zmíněných kloubů. Proto se přišlo s následující variantou. Celá figurína se rozdělila na již vypočítané segmenty. Každý z těchto segmentů zaujímá určitý objem hmoty. Segmenty stehno, bérce a nadloktí byly rozděleny na tři části. Těmto částem pak byly přiděleny jednoduché geometrické tvary, mezi které se rozdělil celkový objem každého ze segmentů. Následně se jen parametricky vypočítaly rozměry jednotlivých objektů tak, aby jejich celkový objem byl roven objemu segmentu a zároveň aby vizuálně připomínaly danou část lidského těla. Vybranými geometrickými tělesy pro zmíněné segmenty byly válec propojující dva komolé kužele. Segment předloktí je drobnější a méně vytvarovaný, proto byl použit pouze jeden komolý kužel a jeden válec. Celkový vzhled segmentů by pak vypadal následovně, viz obrázek č. 33.



Obrázek 33 – Návrhy sestav forem zleva pro bérce a zprava pro předloktí (zdroj: autorka)

Pro přesné výpočty rozměrů jednotlivých geometrických útvarů byl sestaven soubor propojených vzorců, který je schopný přepočítávat jednotlivé parametry ve vztahu s výškou a váhou pro vybranou figurínu. Na soubor vzorců byl použit tabulkový procesor Microsoft Excel. Byly použity vzorce pro výpočet objemu komolého kužele a válce.

Vzorec objemu komolého kužele:

$$V = \frac{\pi h}{3} (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2) \quad (3)$$

r_1 (m)...poloměr vrchní podstavy,

r_2 (m)...poloměr spodní podstavy,

h (m)...výška komolého kužele.

Vzorec objemu válce:

$$V = \pi r^2 v \quad (4)$$

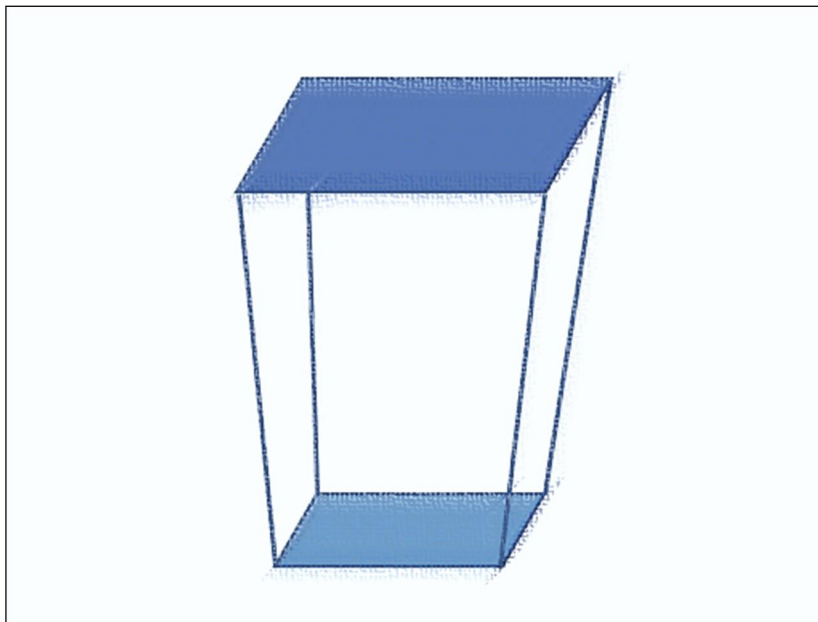
r (m)...poloměr podstavy,

v (m)...výška komolého kužele.

Tabulka 4 – Náhled do souboru výpočtů pro segment bérec (zdroj: autorka)

BÉREC		l =		cm =	
Celkový objem (m ³) =		0,00307	3,07	Délka kosti (m) =	0,300
Komolý kužel 1		Válec		Komolý kužel 2	
(%) h =	20,0	(%) v =	20,0	(%) h =	60,0
(%) V =	22,1	(%) V =	25,9	(%) V =	51,8
(l) V =	0,68	(l) V =	0,79	(l) V =	1,59
(cm) h =	6,0	(cm) v =	6,0	(cm) h =	18,0
(cm) r ₁ =	5,5	(cm) r =	6,5	(cm) r ₁ =	6,5
(cm) r ₂ =	6,5	Π =	3,14	(cm) r ₂ =	4,0

Trup má díky různým rozměrům ramen, kyčlí a hrudního koše rozmanitý tvar. Zde nebylo možné použít vícedílnou sestavu forem kvůli nemožnosti vkládání kostry trupu do hmoty. Avšak díky umístění kloubů na krajních pozicích trupu je možné kostru trupu ponořit do formy a následně ji zalít gelující hmotou. Proto byla pro trup navržena jednodílná forma, která má tvar komolého jehlanu.



Obrázek 34 – Návrh formy na trup (zdroj: autorka)

Pro výpočet objemu formy byl použit vzorec na objem komolého kužele.

Vzorec objemu komolého kužele:

$$V = \frac{v}{3} (ab + \sqrt{abcd} + cd) \quad (5)$$

a, b (m) ...šířka a délka horní podstavy,

c, d (m) ...šířka a délka spodní podstavy,

v (m) ...výška komolého jehlanu.

Na hlavu se forma neuvažovala, protože ta bude celá ze slitiny hliníku a pokrytá pryží. Nohy budou nahrazeny protézami nebo maketami a ruce budou odlity z gumových rukavic.

4.3 POSTUP PŘI VÝROBĚ FIGURÍNY

Krok 1. – Výroba kostry a forem:

Výrobu figuríny je třeba zahájit vytvořením kostry. Kostra se skládá z kovových, dřevěných a pryžových částí. Všechny tyto části budou vyrobeny na zakázku podle vytvořených výkresů, které byly zpracovány pomocí programu Autodesk Inventor Profesionál kolegyní Bc. Martinou Kostíkovou v její diplomové práci. Po výrobě všech komponentů potřebných pro sestavení kostry bude následovat smontování jednotlivých dílů. Do lebky potažené pryží přijde zakoupený akcelerometr. (13)

Dále bude potřeba nechat vyrobit již zmíněné formy. Jednu velkou ve tvaru komolého jehlanu a dále sedm různých velikostí komolého kužele a čtyři různé velikosti válců. Přesné rozměry jsou uvedeny v příloze č. 1.

Krok 2. – Výroba hmoty:

Jakmile budou vytvořeny formy, nakoupí se hmota. Vhodnou a použitelnou hmotou je jak agar, tak i silikonový polymer Lukopren N 1000. Bude tedy uvažována výroba s oběma hmotami.

Agar: Prášek agaru se smíchá s vodou, čímž vznikne 4 % roztok gelující hmoty. Poté se připravená hmota nalije do forem. Následující 4 h bude hmota tuhnout, dokud se nepromění v tuhé želé. Jakmile tento stav nastane, je možno hmotu jemně vyklepnout z forem. Zvlášť opatrně se musí vytahovat hmota s kostrou trupu, aby se co nejméně poškodila.

Silikonový polymer: Silikonový polymer Lukopren N 1000 se promíchá s 0,05 – 0,1 hm. % vody, aby se zaručila rovnoměrná vulkanizace v celé hmotě. Dále se odměří 2 hm. % Lukopren Katalyzátoru a nalije se do hmoty. Směs se důkladně rozmíchá a nalije do připravených forem. Následujících 12 – 24 h bude probíhat vulkanizace, která se může vzhledem k tloušťce odlitku ještě protáhnout.

Hmota se nalije do všech forem kromě té největší ve tvaru komolého jehlanu, která je na trup. Do této formy bude nejprve vložen trup kostry, který bude mít zacpané ramenní a kyčelní jamky, aby se do nich nedostala hmota. Spodní část trupu se musí vložit zhruba do jedné poloviny podesty kolmo k delší straně, zároveň horní část trupu s hrudním košem se musí nacházet přibližně uprostřed vrchní části formy. Trup bude potřeba zajistit. Poté bude moci být gelující hmota nalita i do této formy. Na ruce bude použit pár gumových rukavic, který

poslouží jako forma, do které se taktéž nalije hmota. Po zatuhnutí hmoty se odlitky opatrně vytáhnout z forem.

Krok 3. – Úprava hmoty:

Nyní je hmota připravena. Do sestav odlitků budou vyhloubeny díry o velikosti průměru kosti nebo kostí daných segmentů figuríny. To znamená, že například v sestavě odlitků připadajících do segmentu stehno se vytvoří díra velikosti průměru stehenní kosti. U segmentu bérce se vyhloubí do sestavy odlitků díry o velikosti průměru kosti holenní a lýtkové. U segmentů předloktí a nadloktí se bude postupovat stejně. Hmota bude přesahovat i přes části kovových kloubů, v těchto místech bude potřeba díry podle potřeby rozšířit. Jednotlivé odlitky segmentů se musí správně poskládat do sestav a následně slepit pomocí lepidla Lukopren S 6410, čímž se vytvoří jednotný díl segmentu. Vzhled sestav můžete nalézt v příloze č. 2. Pro kontrolu, délky jednotlivých segmentů (viz tabulka č. 3) musí odpovídat celkové výšce jednotlivých poskládaných sestav.

Tabulka 5 – Velikost děr v odlitcích (zdroj: autorka)

Sestava STEHNO	<i>průměr 36,7 mm</i>
Sestava BÉREC	<i>průměry 32,2 mm a 16,1 mm</i>
Sestava NADLOKTÍ	<i>průměr 29,3 mm</i>
Sestava PŘEDLOKTÍ	<i>průměry 20,7 mm a 20,2 mm</i>

U segmentu trup bude potřeba větších úprav. V této fázi má trup tvar komolého jehlanu. Tento tvar je potřeba ořezat do tvaru podobajícího se lidskému tělu. Agar i silikonový polymer mají neměnné vlastnosti i při ořezání, které je navíc lehce proveditelné. Kolem kostry by měla zůstat alespoň 2 – 5 cm tlustá vrstva hmoty. Pro tuto činnost bude potřeba ostrý nůž, se kterým se bude dobře manipulovat, a především šikovné ruce a dobrý odhad tvůrce. Během okrajování se také odstraní ucpávky v ramenních a kyčelních žlábcích.

Krok 4. – Sestavení kostry a hmoty:

Na dřevěné kosti se navlečou jednotlivé segmenty. Kosti se zarazí do kloubů, čímž vzniknou končetiny. Ty se pak i s hlavou přimontují k trupu.

Krok 5. – Dokončení:

V této fázi je už většina částí figuríny pohromadě. Následuje tedy vytvoření kůže pomocí potravinářské fólie. Fólií se obmotají všechny části s hmotou, čímž se docílí hladkého povrchu. Obalená figurína bude oblečena do neoprenových kalhot a neoprenové bundy. Neoprenové vybavení bude upraveno přidáním zipů pro snadnější manipulaci při oblékání figuríny. Závěrem pak připevníme poslední části figuríny, odlitky rukou a nohy - protézy.

4.4 RECYKLOVATELNOST FIGURÍNY

Celková figurína se skládá z několika druhů materiálů. Kostru je možné do poslední součástky rozebrat, takže není nutná výměna větších celků. U kovových částí se nepředpokládá častých poškození, ale i v takovém případě je možné podle výkresů nechat znovu vyrobit daný poškozený díl. Stejně tak je tomu i pryžových částí. V případě protrhnutí neoprenu se buď zašije, nebo se pořídí nový.

Větší rozbitnost se předpokládá u dřevěných kostí. Ty bohužel nelze opravit a tak bude nutná výroba nových částí. Jedná se však o jednotlivé poměrně malé kulatiny, takže velká finanční náročnost se neodhaduje. Ohýbané dřevo použité v hrudním koši však bude o něco dražší vzhledem k náročnějšímu výrobnímu postupu.

Na svalovinu bude použit buď agar, nebo silikon. Neopren a vrstva potravinové fólie zajistí, že hmota zůstane pohromadě, nebude se nemuset sbírat po celé vozovce a zároveň nedojde ke znečištění hmoty z okolního prostředí.

Agar je druh želatiny, který je možný nekonečněkrát použít. Jeho recyklace tedy spočívá v rozpuštění, nalití do nové formy a ztuhnutí. Díky této vlastnosti nebude potřeba dalších financí na agarovou hmotu.

Silikonový polymer Lukopren N 1000 se rozpustit a znovu použít nedá. Lze ho však slepit. Lukoprenem S 6410 je lepidlo, sloužící k lepení silikonových kaučuků. Za použití prostředku Lukopren Odmašťovače je potřeba odstranit z ploch silikonu mastnotu. Následně se

nanese vrstva lepidla o tloušťce vrstvy nejméně $0,5\text{ mm}$. Poté ihned spojíme obě části. Pokud by se silikonová část už nedala slepit, zakoupí se nová hmota a kterýkoliv segment figuríny se dá znovu odlít.

Po opravení nebo vyměnění poškozených částí bude figurína schopna opětovné nárazové zkoušky.

5 ODHAD MATERIÁLOVÝCH NÁKLADŮ NA VÝROBU TESTOVACÍ FIGURÍNY

Současné testovací figuríny jsou díky svému provedení a vybavenosti přesných snímačů velmi drahá zařízení. Například nejzákladnější verze figuríny Hybrid III. stojí bez snímačů od 5 mil. korun. Vzhledem k potřebám naší figuríny a jejímu předpokládanému zničení by taková cena byla příliš vysoká. Navržená figurína se tedy snaží zachovat potřebné vlastnosti pro testování a zároveň finanční přívětivost.

Cena navržené figuríny byla poskládána z odhadu ceny materiálu a odhadu ceny za práci. Za náhradu lidského masa byly navrženy dva druhy hmot, a to Lukopren N 1000 a Agar GRM026. Byly tedy uvažovány obě hmoty pro dvě varianty testovací figuríny. K potřebnému množství bylo ještě připočteno 10% navíc z každé hmoty pro přirozený úbytek. Kromě hmot, nahrazujících maso, budou figuríny totožné. Odhad cen položek na kostru, jako jsou duralové a pryžové části, dlouhé kosti a žebra z olšového dřeva a spojovací materiál, byly vypočítány a převzaty z diplomové práce Bc. Martiny Kostíkové. Přehled nákladů na výrobu kostry je v tabulce č. 6. a přehled celkových nákladů na výrobu testovací figuríny je v tabulce č. 7. (13)

Tabulka 6 – Náklady na výrobu kostry (13)

KOSTRA	
POLOŽKA	CELKOVÁ CENA
DURALOVÉ ČÁSTI	43 900 Kč
PRYŽOVÉ ČÁSTI	2 700 Kč
DLOUHÉ KOSTI	1 200 Kč
ŽEBRA	5 400 Kč
SPOJOVACÍ MATERIÁL	1 000 Kč
CELKEM	54 200 Kč

Tabulka 7 – Celkové náklady na výrobu figuríny (zdroj: autorka)

POLOŽKA	MNOŽSTVÍ	CENA ZA JEDNOTKU	CENA + PRÁCE
FORMY	<i>12 ks</i>	<i>1 250 Kč/ks</i>	<i>15 000 Kč</i>
SILIKONOVÝ POLYMER LUKOPREN N 1000	<i>64 680 g</i>	<i>0,39 Kč/g</i>	<i>25 226 Kč</i>
LUKOPREN KATALYZÁTOR	<i>1 950 g</i>	<i>2,97 Kč/g</i>	<i>5 785 Kč</i>
AGAR GRM026	<i>990 g</i>	<i>4,02 Kč/g</i>	<i>3 980 Kč</i>
POTRAVINOVÁ FÓLIE	<i>30 cm x 30 m</i>	<i>50 Kč/balení</i>	<i>50 Kč</i>
NEOPREN	<i>2 ks</i>	<i>2 000 Kč/ks</i>	<i>4 000 Kč</i>
GUMOVÉ RUKAVICE	<i>1 pár</i>	<i>200 Kč/pár</i>	<i>200 Kč</i>
PROTÉZY	<i>2 ks</i>	<i>15 000 Kč/ks</i>	<i>30 000 Kč</i>
KOSTRA	<i>54 200 Kč</i>		
CELKEM FIGURÍNA (SILIKON)	<i>134 461 Kč</i>		
CELKEM FIGURÍNA (AGAR)	<i>107 430 K</i>		

Výsledná odhadovaná cena figuríny za použití silikonu bude cca *134 461 Kč* a za použití agaru bude *107 430 Kč*. Obě varianty budou tak několikanásobně levnější než zakoupení originální figuríny. Další výhodou navržené figuríny budou malé ztráty materiálů při její výrobě. Nevýhodou pak bude potřebné opracování silikonu nebo agaru pro výsledný tvar trupu figuríny.

ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo navržení vhodných materiálů a technologického postupu pro výrobu testovací figuríny. Navržená figurína by měla představovat chodce, který bude sražen motorovým vozidlem. Figurína by měla být co nejvíce podobná fyzickými i biologickými vlastnostmi lidskému tělu, avšak oproti současným vyráběným figurínám používaným při árazových testech se počítá se zničením navržené figuríny. Kvůli tomu bylo potřeba vymyslet figurínu složenou z jednoduše vyměnitelných částí a levného materiálu.

Aby se figurína co nejvíce podobala člověku, bylo nutné do návrhu začlenit i anatomii lidského těla. Nejvíce se promítla do návrhu kostry figuríny, na které pracovala Bc. Martina Kostíková ve své diplomové práci. Kostra byla navržena z duralových a pryžových částí a olšového dřeva, které díky svým vlastnostem nejvíce připomíná kosti lidského těla. Důležitým úkolem této práce pak bylo navázat na konstrukci kostry vhodným materiálem nahrazujícím měkké tkáně lidského těla a vytvořit formu pro celkový vzhled figuríny. Nejdokonalejší hmotou představující maso by byla balistická želatina, která je známá svými ideálními vlastnostmi. Avšak postup výroby odlitku z balistické želatiny je natolik technologicky náročný, že bylo nutno od této varianty odstoupit. Dalšími navrženými hmotami byly silikonový polymer Lukopren N 1000 a Agar GRM026. Obě hmoty vykazovaly podobnou viskoelasticitu jako vepřové maso, které je nejpodobnější lidskému masu. Díky této vlastnosti a poměrně nízké ceně byly obě hmoty začleněny do návrhu testovací figuríny. Celkový vzhled figuríny byl vytvořen sadou forem, které byly navrženy přesně pro rozměry vymyšlené kostry v závislosti na velikosti objemů jednotlivých segmentů lidského těla průměrně velkého muže. Funkci ochranné vrstvy plní potravinářská fólie, která zároveň simuluje lidskou kůži, a neopren, který má za úkol držet hmotu pohromadě. Na nohy figuríny byly navrženy silikonové protézy a ruce byly uvažovány jako odlitky z gumových rukavic.

Navržením těchto materiálů a výrobního postupu se tak docílilo možného způsobu vyrobení testovací figuríny pro účel simulace chodce. Její hlavní výhodou je nízká cena, která je oproti současně vyráběným figurínám asi třicetinásobně menší. Další výhodou je recyklovatelnost figuríny a jednoduchá opravitelnost, což se opět opírá o nižší potřebu finančních prostředků. Malou nevýhodou figuríny je potřeba opracování hmoty při výrobě.

Skutečnost, zda navržené materiály budou ideální, už bude ověřeno jen na základě reálné nárazové zkoušky.

ABECEDNÍ SEZNAM ZDROJŮ

Knižní publikace

- (1) DAVIDSON, Alan. *Oxford společník na potraviny*. Oxford: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-280681-9.
- (2) DYLEVSKÝ, Ivan. *Základy funkční anatomie člověka I*. 2. upravené vydání. Praha: Vysoká škola tělesné výchovy a sportu Palestra, spol. s r.o, 2016. ISBN 978-80-87723-27-2.
- (3) JOSEPHSON, Paul. *Traffic*. 1. Mishawaka: Bloomsbury Academic, 2017. ISBN 1501329332.
- (4) KARAS, VLADIMÍR, OTÁHAL, STANISLAV, Biomechanika tělesných cvičení, SPN, Praha, 1990, ISBN 80-04-20554-2.
- (5) KOPECKÝ, Miroslav, Kateřina KIKALOVÁ, Jitka TOMANOVÁ, Milada BEZDĚKOVÁ a Jiří CHARAZMA. *Anatomie I: Podpůrně pohybový systém*. Olomouc, 2014. Univerzita Palackého v Olomouci.
- (6) MERKUNOVÁ, Alena a Miroslav OREL. *Anatomie a fyziologie člověka pro humanitní obory*. Praha: Grada, 2008. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-1521-6.
- (7) NAŇKA, Ondřej a Miloslava ELIŠKOVÁ. *Přehled anatomie*. Třetí, doplněné a přepracované vydání. Praha: Galén, 2015. ISBN 978-80-7492-206-0.
- (8) PORADA, Viktor. *Silniční dopravní nehoda v teorii a praxi*. Praha: Linde, 2000. Vysokoškolské právnické učebnice. ISBN 80-7201-212-6.
- (9) PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 8072042483.
- (10) VLK, František. *Automobilová elektronika*. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-7062-3.
- (11) VLK, František. *Stavba motorových vozidel*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství František Vlk, 2003. 499 s. ISBN 80-238-8757-2.

Vysokoškolské kvalifikační práce

- (12) DVOŘÁČEK, M. Nárazové zkoušky osobních automobilů. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav techniky a automobilové dopravy, 2010. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Čupera, Ph.D.

- (13) KOSTÍKOVÁ, M. Návrh testovací figuríny pro nárazové zkoušky. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2017. 71 s. Vedoucí diplomové práce Ing. et Ing. Martin Bilík.
- (14) MARŠÁLEK, P. Návrh dolní končetiny testovací figuríny pro nárazové zkoušky. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2016. 75 s. Vedoucí diplomové práce Ing. et Ing. Martin Bilík.

Elektronické prameny

- (15) 1A112 - Estetické chodidlo S.A.C.H. *H.T.C* [online]. Ostrava: H.T.C., 2017 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.htc-cz.cz/view.php?cislocclanku=8>
- (16) ANCAP To Merge Standards With Euro NCAP By 2018. *THE MOTOR REPORT* [online]. Sydney: The Motor Report, 2017 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.themotorreport.com.au/60218/ancap-to-merge-standards-with-euro-ncap-by-2018>
- (17) Čelní náraz. *dTEST* [online]. Praha: dTest, 2016 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <https://www.dtest.cz/clanek-65/celni-naraz>
- (18) *CLEAR BALLISTICS* [online]. Fort Smith: Clear Ballistics, 2017 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <https://www.clearballistics.com>
- (19) Clear Ballistics Gelatin Not Performing Like Real Ballistics Gelatin? *TFB* [online]. TheFirearmBlog, 2017 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.thefirearmblog.com/blog/2016/09/09/clear-ballistics-gelatin-not-performing-like-real-ballistics-gelatin>
- (20) Crash test dummy. *MADE HOW* [online]. Advameg, 2017 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.madehow.com/Volume-5/Crash-Test-Dummy.html>
- (21) Dummy history. *HUMANESTICS* [online]. Plymouth: Humanetics Innovative Solutions, 2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.humaneticsatd.com/about-us/dummy-history>
- (22) Electric Car Post-Crash-Test Fire Prompts Federal Investigation. *MGS TECH* [online]. Oklahoma: MGS Tech Innovation Technologies, 2011 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.mgstech.net/electric-car-post-crash-test-fire-prompts-federal-investigation>
- (23) *EURO NCAP* [online]. Leuven: Euro NCAP, 2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: www.euroncap.com

- (24) First side impact test. *IIHS HLDI* [online]. Arlington: Insurance Institute for Highway Safety, Highway Loss Data Institute, 2003 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.iihs.org/iihs/sr/statusreport/article/38/7/1>
- (25) Ford разрабатывает цифровую модель ребенка для краш-тестов. *HAUKA 21 BEK* [online]. Москва: Сен Мишель Групп, 2011 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://nauka21vek.ru/archives/22560>
- (26) How pedestrian airbags work. *AUTOREVOLUTION* [online]. Bucharest, 2012 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.autoevolution.com/news/how-pedestrian-airbags-work-45419.html>
- (27) How to read the stars. *EURO NCAP* [online]. Leuven: Euro NCAP, 2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com/en/about-euro-ncap/how-to-read-the-stars>
- (28) *HUMANETICS* [online]. Plymouth: Humanetics Innovative Solutions, 2017 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.humaneticsatd.com>
- (29) IIHS says 2011 Chevrolet Volt and Nissan LEAF are practically as safe as larger cars. *GM-VOLT* [online]. GM-Volt.com, 2017 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://gm-volt.com/2011/04/27/iihs-says-2011-chevrolet-volt-and-nissan-leaf-are-practically-as-safe-as-larger-cars>
- (30) *LIDSKÉ TĚLO* [online]. 2007 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.latinsky.estranky.cz>
- (31) *Lučební závody Kolín* [online]. Kolín: CLEVER Soft, 2017 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.lucebni.cz>
- (32) National museum of american history. *FLICKR* [online]. San Francisco: Flickr, a Yahoo company, 2010 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/nationalmuseumofamericanhistory/4796774241>
- (33) Ochrana chodců. *DTEST* [online]. Praha: dTest, 2016 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <https://www.dtest.cz/clanek-67/ochrana-chodcu>
- (34) РАЗРАБОТКА ПОЛНОМАСШТАБНОЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ АНТРОПОМОРФНОГО МАНЕКЕНА HYBRID III 50% MALE DUMMY (2013 Г.). *CML* [online]. Санкт-Петербург: CompMechLab, 2017 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://fea.ru/project/100>
- (35) Pedestrian dummy. *HI-TECH ELECTRONICS* [online]. Singapur: Hi-Tech Electronics Pte, 2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.hitech.com.sg/products.php?type=Dummy&category=Pedestrian%20Dummy>

- (36) POKORNÝ, Jan.: Bezpečnost a ochrana chodců: průvodní text k prezentaci Bezpečnost a ochrana chodců [online]. 2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z WWW: http://envi.upce.cz/pisprace/ostatni/pokorny_text.pdf
- (37) Prase se hojně využívá v medicíně. Je podobné člověku. *VITALIA* [online]. Internet Info, 2017 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <https://www.vitalia.cz/clanky/prase-se-hojne-vyuziva-v-medicine-je-podobne-cloveku>
- (38) Synovial joints. *MAN ANATOMY* [online]. Peshawar, 2010 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.mananatomy.com/basic-anatomy/synovial-joints>
- (39) Tag Archives: crash-test. *BMW BLOG* [online]. Europe: BMWBLOG.com, 2015 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.bmwblog.com/tag/crash-test>
- (40) Top 10 hardest men ever!. *PREDATOR NUTRITION* [online]. Manchester: Predator Nutrition, 2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.predatornutrition.com/articlesdetail?cid=top-10-hardest-men-ever>
- (41) Types of Bones. *Anatomy Basics* [online]. 2004 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.atlasofanatomy.com/basics/slides/Types%20of%20Bones.html>

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

ABS	Anti-lock Brake System
ASR	Anti-Slip Regulation
EEVC	The European Electric Vehicle Congress
ESP	Electronic Stability Program
Euro NCAP	European New Car Assessment Programme
FMVSS 208	Federal Motor Vehicle Safety Standard No. 208
NCAP	New Car Assessment Programme
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
SAE	Society of Automotive Engineers
UMTRI	University of Michigan Transportation Institute

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Airbag pro chodce (26).....	13
Obrázek 2 - Profesor Lawrence Patrick při pokusu (40)	18
Obrázek 3 – Ferd I. a Ferd II. (25)	19
Obrázek 4 - Figurína SID vyvinuta v 70. letech (24).....	20
Obrázek 5 - Hybrid II. 50-ti percentilní muž (28).....	21
Obrázek 6 – Hybrid III. 50-ti percentilní muž (35).....	22
Obrázek 7 - Zleva Hybrid II. (1970) a Hybrid III. (1980) (32).....	23
Obrázek 8 – Podmínky pro čelní náraz (23)	24
Obrázek 9 – Test čelního nárazu pod záštitou EURO NCAP (39)	25
Obrázek 10 – Hybrid III. 5-ti percentilní žena (35)	26
Obrázek 11 – Figurína dítěte HIII-3YO (35)	26
Obrázek 12 – Test bočního nárazu pod záštitou EURO NCAP (39)	27
Obrázek 13 – Podmínky pro test bočního nárazu (23).....	28
Obrázek 14 – Test bočního nárazu na pevný sloup (22).....	28
Obrázek 15 – Figurína pro boční náraz SID-IIs (24)	29
Obrázek 16 – Figurína pro boční náraz WorldSID (35)	30
Obrázek 17 – Test nárazové zkoušky ochrany chodce (11).....	31
Obrázek 18 – Impaktor hlavy při testu ochrany chodce (1).....	31
Obrázek 19 – Průřez figurínou Hybrid III. 50-ti percentilního muže (34)	34
Obrázek 20 – Namalovaná figurína po nárazové zkoušce (29)	34
Obrázek 21 – Lidská kostra (7).....	36
Obrázek 22 – Typy kostí: zleva kost dlouhá, kosti krátké, kost plochá a kost nepravidelná (41)	38
Obrázek 23 – Typy kloubů: zleva kulovitý, kondylový, sedlový, závěsný, plochý (38).....	39
Obrázek 24 – Lidská páteř: zleva pohled z boku, pohled zepředu, pohled zezadu (30).....	40
Obrázek 25 – Lebka: zleva čelní pohled a zprava z profilu (30)	41
Obrázek 26 – Povrchové svaly na lidském těle (30).....	43
Obrázek 27 – Zleva přírodní balistická želatina a zprava syntetická balistická želatina (19) .	44
Obrázek 28 – Zleva 4 % a 2 % vzorky agaru GRM026 (zdroj: autorka)	46
Obrázek 29 – Graf s výsledky komplexního modulu se vzorky 2 %, 4% agaru a masa (zdroj: autorka)	47
Obrázek 30 – Lidská kůže (30).....	48
Obrázek 31 – Protéza nohy (15)	49
Obrázek 32 – Měření hustoty vepřového masa (zdroj: autorka).....	51

Obrázek 33 – Návrhy sestav forem zleva pro břec a zprava pro předloktí (zdroj: autorka)...	53
Obrázek 34 – Návrh formy na trup (zdroj: autorka).....	55

SEZNAM TABULEK

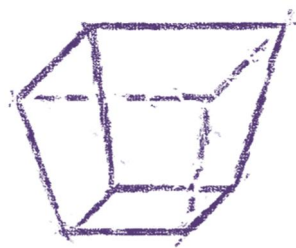
Tabulka 1 – Výsledné hodnocení počtem hvězd podle počtu získaných bodů (27)	16
Tabulka 2 – Koeficienty pro výpočet hmotnosti jednotlivých segmentů (4).....	50
Tabulka 3 – Výpočty parametrů jednotlivých segmentů (zdroj: autorka)	52
Tabulka 4 – Náhled do souboru výpočtů pro segment bérec (zdroj: autorka).....	54
Tabulka 5 – Velikost děr v odlitcích (zdroj: autorka).....	57
Tabulka 6 – Náklady na výrobu kostry (13)	60
Tabulka 7 – Celkové náklady na výrobu figuríny (zdroj: autorka).....	61

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Rozměry forem

Příloha č. 2 – Návrh vzhledu jednotlivých sestav segmentů

Příloha č. 1 – Rozměry forem



Komolý jehlan - TRUP

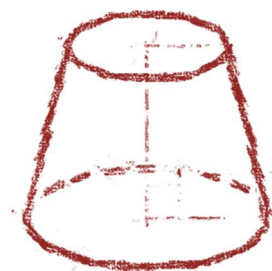
$$v = 65 \text{ cm}$$

$$a = 35 \text{ cm}$$

$$c = 37 \text{ cm}$$

$$b = 50 \text{ cm}$$

$$d = 30 \text{ cm}$$



Komolý kužel 1 – NADLOKTÍ

$$r_1 = 4,5 \text{ cm}$$

$$r_2 = 5 \text{ cm}$$

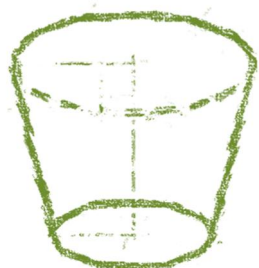
$$h = 2 \text{ cm}$$

Komolý kužel 1 - STEHNO

$$r_1 = 9 \text{ cm}$$

$$r_2 = 10 \text{ cm}$$

$$h = 4 \text{ cm}$$



Komolý kužel 2 – NADLOKTÍ

$$r_1 = 5 \text{ cm}$$

$$r_2 = 4,5 \text{ cm}$$

$$h = 8 \text{ cm}$$

Komolý kužel 2 – STEHNO

$$r_1 = 10 \text{ cm}$$

$$r_2 = 7 \text{ cm}$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

Komolý kužel 1 – BÉREC

$$r_1 = 5,5 \text{ cm}$$

$$r_2 = 6,5 \text{ cm}$$

$$h = 6 \text{ cm}$$

Komolý kužel 2 – BÉREC

$$r_1 = 6,5 \text{ cm}$$

$$r_2 = 4 \text{ cm}$$

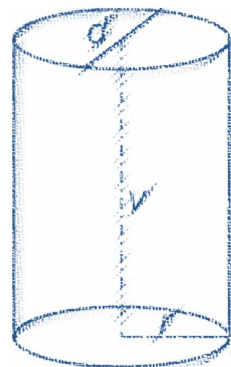
$$h = 18 \text{ cm}$$

Komolý kužel 2 - PŘEDLOKTÍ

$$r_1 = 4,5 \text{ cm}$$

$$r_2 = 4 \text{ cm}$$

$$h = 10 \text{ cm}$$



Válec – NADLOKTÍ

$$r = 5 \text{ cm}$$

$$v = 17,4 \text{ cm}$$

Válec - STEHNO

$$r = 10 \text{ cm}$$

$$v = 12 \text{ cm}$$

Válec – BÉREC

$$r = 7 \text{ cm}$$

$$v = 6 \text{ cm}$$

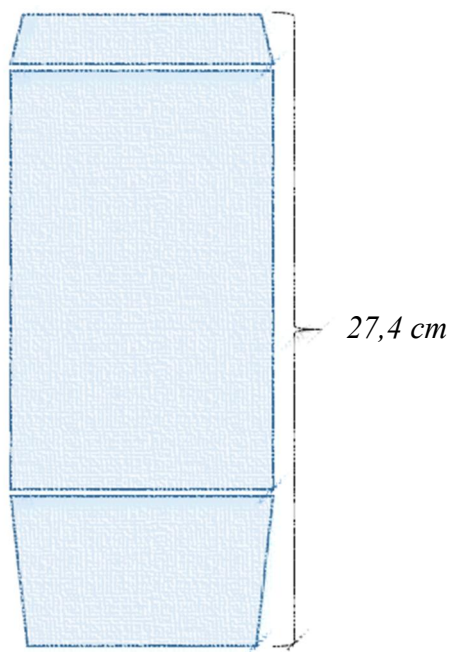
Válec – PŘEDLOKTÍ

$$r = 4,5 \text{ cm}$$

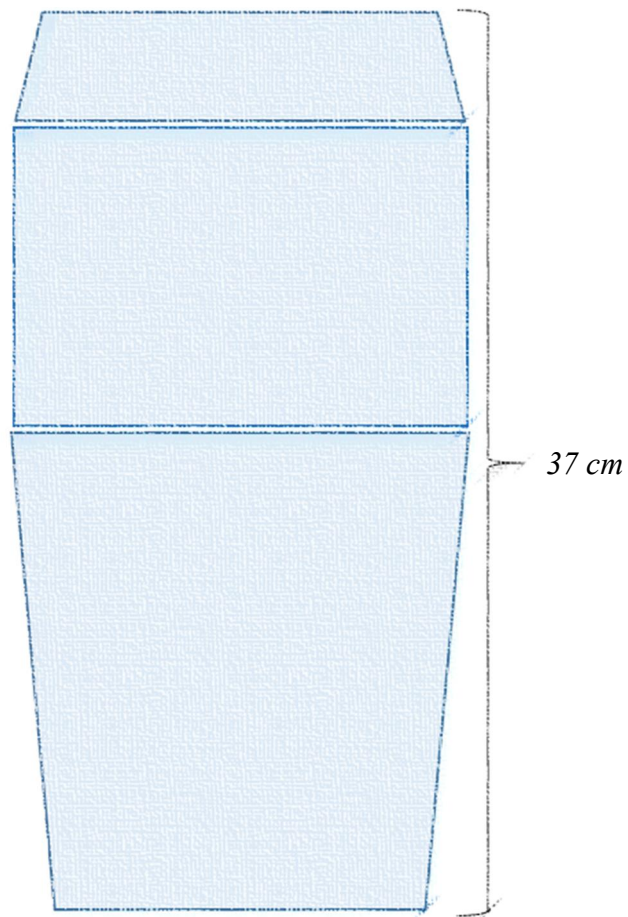
$$v = 11,2 \text{ cm}$$

Příloha č. 2 – Návrh vzhledu jednotlivých sestav segmentů

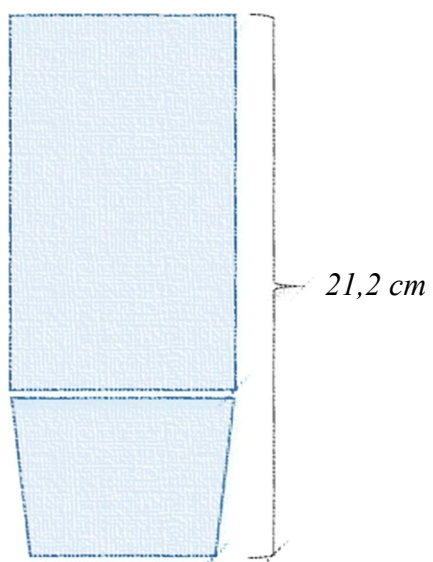
SESTAVA NADLOKTÍ



SESTAVA STEHNO



SESTAVA PŘEDLOKTÍ



SESTAVA BÉREC

